

2011

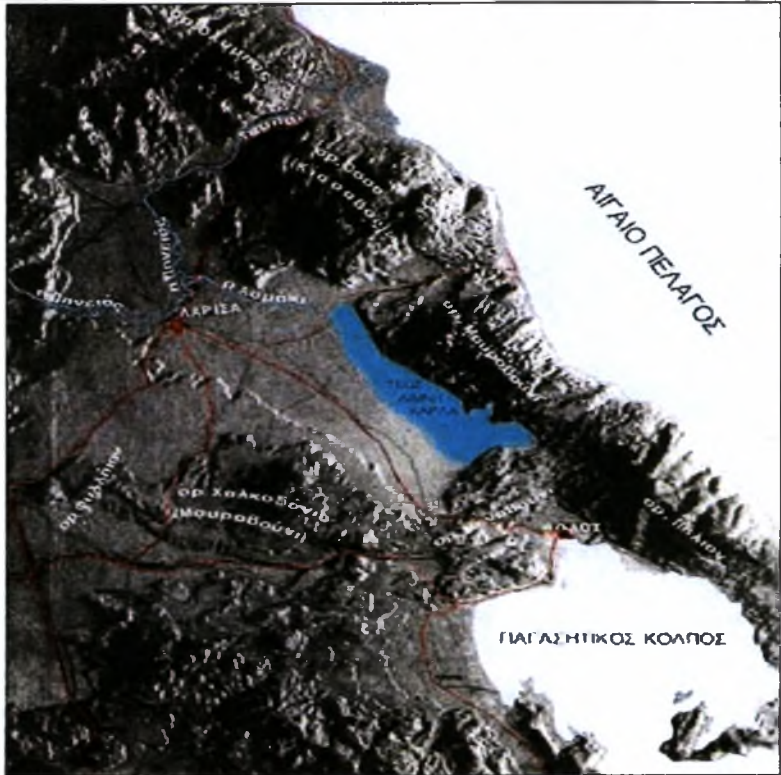


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ, ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
<<ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ>>

“ Τρισδιάστατη προσομοίωση ανεμογενών
υδατορευμάτων στην λίμνη Κάρλα. ”



Βόλος, Οκτώβριος 2011



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.:	10495/1
Ημερ. Εισ.:	27-04-2012
Δωρεά:	Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός:	Δ
	551.482 495 4
	ΚΑΛ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**Μ.Π.Σ. : << ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ & ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ>>**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΩΝ
ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΛΙΜΝΗ ΚΑΡΛΑ

ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ : ΚΑΛΟΓΙΑΝΝΗ ΔΗΜΗΤΡΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΣΑΡΡΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ



1

“Κάρλα μας! Λίμνη όμορφη
που σ’ έχουνε αποξηράνει.
Τον τόπο που μας άφησες
Για τίποτα δεν κάνει.

2

Να ξαναγίνεις θα ‘θελα.
Οι γλάροι να πετάζουν
Και οι ψαράδες οι παλιοί
Καλύβες να σου φτιάξουν.

3

Να κρεμαστούν οι κακαβιές
τις σούπες τους να βράζουν
και το βραδάκι στη στεριά
τσασκάλια να ουρλιάζουν.

4

Κρύοι βοριάδες να φυσούν
Τον κόσμο να χαλάνε
και οι ψαράδες τη ζεστή
Τη σούπα τους να φάνε.

5

Από την κολοκύθα τους
κρασί καλό να πιούνε,
τη χειμωνιάτικη βραδιά
τραγούδια ν’ ακουστούνε.

6

Ξηράθηκες και χάθηκαν
τα ψάρια, τα παπιά σου
που θρέψανε στην Κατοχή
Τα νηστικά παιδιά σου “.

Σωκράτης Ζιώγας (αδημοσίευτο, προφορική
κατάθεση σε πλαίσιο συνομιλίας)

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	9
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	10
ABSTRACT.....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι	
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
2. Η ζωή στην Κάρλα πριν και μετά την αποξήρανση.....	17
3. Η Κάρλα σήμερα.....	20
4. Η εξέλιξη του έργου της επαναδημιουργίας.....	22
5. Μορφολογία λεκάνης της Κάρλας.....	28
6. Το βιοτικό περιβάλλον της λίμνης.....	28
7. Περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις.....	29
8. Εδαφολογικές Συνθήκες.....	30
9. Μετεωρολογικές συνθήκες.....	31
10. Άνεμοι.....	31
11. Θερμοκρασία.....	33
12. Έργα διαμόρφωσης της λίμνης.....	34
13. Ποιότητα νερού.....	36
13.1. Φως.....	37
13.2. Χρώμα.....	37
13.3. Διαλυμένο οξυγόνο.....	37
13.4. Θρεπτικά Συστατικά.....	38
13.5. Τοξικές ουσίες.....	38
14. Ρύπανση του Παγασητικού Κόλπου (πλαγκτόν).....	39

15. Εκτίμηση εισροής ρύπων.....	40
15.1. Υπολογισμός των απωλειών του αζώτου από τα λιπάσματα.....	40
15.2. Κατηγορίες ρύπων.....	42
15.3. Συμπεράσματα.....	42
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ II	
16. Εισαγωγή στις λίμνες.....	45
16.1. Προέλευση και εξέλιξη των λιμνών.....	45
16.2. Λιμναίο οικοσύστημα.....	49
16.3. Μορφομετρικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του λιμναίου οικοσυστήματος.....	49
16.4. Υδραυλικός χρόνος παραμονής του νερού στη λίμνη.....	50
16.5. Οι φυσικές παράμετροι στο λιμναίο οικοσύστημα.....	50
16.6. Οι χημικές παράμετροι στο λιμναίο οικοσύστημα.....	51
16.7. Η ενεργός οξύτητα.....	53
16.8. Η βιοποικιλότητα.....	53
16.9. Τροφικό πλέγμα.....	55
16.10. Τεχνητές λίμνες (ταμιευτήρες).....	58
17. Ευτροφισμός των λιμνών.....	58
18. Βιολογικά χαρακτηριστικά σε ένα υδατικό οικοσύστημα	60
19. Ρύπανση των υδάτων.....	61
20. Πιθανά αίτια ρύπανσης του νερού στις λίμνες	62
21. Σύστημα καθαρισμού εισροών.....	72
22. Τάσεις βελτίωσης στην ποιότητα των νερών.....	74
23. Έλεγχος της ποιότητας νερού με χημική ανάλυση.....	75
23.1. Θερμοκρασία.....	75
23.2. Από τι επηρεάζεται η θερμοκρασία	76

23.3. PH.....	76
23.4. Η διαύγεια της λίμνης	76
23.5. Πως αυτά επηρεάζουν τους οργανισμούς στη λίμνη.....	77
24. Η συγκέντρωση των νιτρικών και φωσφορικών αλάτων στη λίμνη.....	78
25. Άνεμος και δύναμη Coriolis	78
26. Μοντέλο Chapra και Reckhow.....	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ	
27. Εισαγωγή στον κώδικα εργασίας OpenFoam.....	81
28. Προσομοίωση - κατάστρωση του προβλήματος.....	82
29. Εξισώσεις.....	84
29.1. Αριθμητικά μοντέλα.....	84
29.2. Υπολογισμός θερμοκρασίας.....	85
29.3. Φυτοπλαγκτόν.....	86
29.4. Άλγη.....	88
29.5. Φώσφορο.....	90
29.6. Άζωτο.....	91
29.7. Φως.....	91
29.8. Κυανοβακτήρια.....	93
30. Η εφαρμογή του προγράμματος OpenFoam.....	95
30.1. Δημιουργία πλέγματος.....	95
30.2. Αρχικές και οριακές συνθήκες.....	97
30.3. Physical properties.....	98
30.4. Control.....	98
30.5. Εξέταση του πλέγματος.....	99
30.6. Δημιουργία του βαθμολογημένου πλέγματος.....	99
31. Προεπεξεργασία	102
32. Αλγόριθμος Simple	103

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

33. Αποτελέσματα – Σχόλια - Παρατηρήσεις.....105

34. Παράρτημα I και II

35. Βιβλιογραφία

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία: `` Τρισδιάστατη προσομοίωση ανεμογενών υδατορευμάτων στην λίμνη Κάρλα. ``

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα κ. Σαρρή Ιωάννη για τη συνεχή επιστημονική καθοδήγηση αλλά και την υποστήριξή του στην εκπόνηση της μεταπτυχιακής διπλωματικής μου εργασίας και την πολύτιμη συμβολή του καθ' όλη την διάρκειά της.

Ευχαριστώ επίσης θερμά τον κ. Διακόπουλο Αντώνιο για την καθοδήγηση του και την μεταλαμπάδευση των γνώσεων του, σε θέματα υπολογιστικής ρευστομηχανικής, οι οποίες ήταν απαραίτητες για την εκπόνηση της μεταπτυχιακής διπλωματικής μου εργασίας, αλλά και την υποστήριξη του όλο αυτό το διάστημα.

Μια ιδιαίτερη θέση στις ευχαριστίες μου κατέχει και ο υποψήφιος διδάκτωρ κ. Λευτέρης Μπένος για την πολύτιμη συνεχή βοήθειά του στην εκμάθηση του προγράμματος OpenFoam , το οποίο ήταν απαραίτητο για την εκπόνηση της μεταπτυχιακής διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήταν παράληψη από μέρους μου να μην αναφερθώ στον κ. Χαρίσιο Θ. Νεβεσκιώτη, ο οποίος ασχολήθηκε στην μεταπτυχιακή διπλωματική του εργασία με την μελέτη της λίμνης Κάρλας με μεθόδους υπολογιστικής ρευστομηχανικής, για την πολύτιμη βοήθεια του και την παραχώρηση χρήσιμου υλικού το οποίο μου εμπιστεύτηκε.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένειά μου για την υπομονή και κατανόηση που επέδειξε σε όλο το διάστημα διεκπεραίωσης αυτής της εργασίας, αλλά και για την υποστήριξη και την συμπαράστασή της σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Η μεταπτυχιακή φοιτήτρια ,

Καλογιάννη Δήμητρα

Περίληψη

Αντικείμενο της μεταπτυχιακής διπλωματικής μου εργασίας αποτελεί η τρισδιάστατη προσομοίωση ανεμογενών υδατορευμάτων στην λίμνη Κάρλα.

Η ορθολογική διαχείριση της λίμνης Κάρλας απαιτεί την ανάπτυξη προχωρημένων μοντέλων όπου η υπολογιστική ρευστομηχανική μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά, ιδίως σε ότι αφορά μοντέλα μεταφοράς μάζας και φερτών υλών. Στην παρούσα εργασία εξετάζουμε σενάρια τρισδιάστατης ροής στη λίμνη Κάρλα. Η ανάλυση δείχνει τις δυνατότητες της μεθόδου στο σύγχρονο σχεδιασμό υδραυλικών έργων και αποτελεί το πρώτο στάδιο ανάπτυξης μοντέλων όπου μαζί με το υδροδυναμικό πρόβλημα επιλύεται και το πρόβλημα μεταφοράς μάζας στον ταμιευτήρα.

Η φυσική λεκάνη της λίμνης Κάρλα ανήκει γεωγραφικά στην ανατολική Θεσσαλική πεδιάδα. Συγκεκριμένα καταλαμβάνει την Ν.Α. απόληξη της πεδιάδας της Λάρισας και εισέρχεται στο Ν. Μαγνησίας. Η περιοχή παρουσιάζει μορφή κλειστής επιμήκους λεκάνης με διάταξη από Β.Δ. προς Ν.Α. μήκους 35 χιλιομέτρων περίπου και πλάτους 9-14 χιλιομέτρων. Το εμβαδόν που καταλάμβανε η λίμνη ήταν μεταβλητό, κυμαινόμενο μεταξύ ευρέων ορίων, ανάλογα με τις διακυμάνσεις στάθμης που καθορίζονταν από τις εισροές και τις αντίστοιχες εκροές υδάτων. Συγκεκριμένα η έκταση της λίμνης κυμαινόταν από 180.000 στρέμματα (μέγιστο) μέχρι 41.000 στρέμματα (ελάχιστο). Η λίμνη της Κάρλας πριν την αποξήρανσή της ήταν ένας από τους πέντε σπουδαιότερους υδροβιότοπους της Ελλάδας και από την αλιεία ζούσαν περίπου 1000 οικογένειες (Τσερδάνη Αικ., κ.ά. 2009).

Οι βασικές επιπτώσεις της αποξήρανσής είναι η ελάττωση του υδάτινου δυναμικού και η μείωση του υδροφόρου ορίζοντα με αποτέλεσμα η στάθμη του να πέσει περίπου 200m τα τελευταία χρόνια. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα το θαλάσσιο μέτωπο να εισχωρήσει στον υδροφορέα πέραν της περιοχής του Παγασητικού κόλπου. Η αποξήρανση της Κάρλας έγινε εν μέρει με στόχο την αύξηση της καλλιεργήσιμης γης η οποία οδήγησε σε χρήση μεγαλύτερων ποσοτήτων λιπασμάτων και γεωργικών φαρμάκων, αύξησε την ποσότητα των ρύπων και επηρέασε αρνητικά την οικολογική ισορροπία της περιοχής με αποτέλεσμα την καταστροφή της χλωρίδας της περιοχής (Τσερδάνη Αικ., κ.ά. 2009).

Για την περιβαλλοντική αποκατάσταση της περιοχής έχει κατασκευαστεί ταμιευτήρας έκτασης 38km². Η υπολογιστική ρευστομηχανική μας δίνει ένα διαφορετικό ερευνητικό εργαλείο που μας βοηθά στην λεπτομερή μελέτη της ροής σε λίμνες με κατανεμημένα μοντέλα. Ο προσδιορισμός του πεδίου ταχυτήτων των λιμνών επιτρέπει την επέκταση των προσομοιώσεων για τον υπολογισμό διαφόρων συστατικών που διαχέονται μέσα στις λίμνες. Για παράδειγμα οι Hedger et al. (1999) εξέτασαν τις σχέσεις μεταξύ της κατανομής της συγκέντρωσης φυτοπλαγκτόν και των περιβαλλοντικών συνθηκών που επικρατούν σε μια λίμνη.

Οι Olsen et al. (1999) χρησιμοποίησαν ένα τρισδιάστατο αριθμητικό μοντέλο για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης άλγης από την κίνηση του ανέμου με την βοήθεια δύο μοντέλων τύρβης, τύπου k-ε και k-ω.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία μελετάται η τρισδιάστατη προσομοίωση της τυρβώδους ροής ύδατος της λίμνης Κάρλας, (η σύγκριση των αποτελεσμάτων με πειραματικά αποτελέσματα, και με αριθμητικά αποτελέσματα βασισμένα στο μοντέλο k-ε), υπό την επίδραση της θερμοκρασίας, των φωσφορικών, του αζώτου, της άλγης, του φωτός και των κυανοβακτηριδίων.

Επίσης πραγματοποιείται η προσομοίωση για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας του ύδατος και της πιθανής διάχυσης διαφόρων συστατικών που σχετίζονται με την ποιότητα του νερού των λιμνών. Η ποιότητα του νερού έχει καθοριστική επίδραση στη λειτουργία του λιμναίου οικοσυστήματος και κάθε επιβάρυνσή του με ύλη, ενέργεια ή μικροοργανισμούς οδηγεί στην υποβάθμιση του. Αναπτύσσεται λοιπόν το θεωρητικό υπόβαθρο με τις εξισώσεις που διέπουν τους υπολογισμούς της ποιότητας του νερού όσον αφορά τη διάχυση της θερμοκρασίας, των εισερχόμενων νιτρικών και φωσφορικών (προερχόμενα πχ. Από γεωργικά φάρμακα και λιπάσματα), την ανάπτυξη της άλγης, με λεπτομέρειες για το πως οι διάφορες παράμετροι εισάγονται στο πρόγραμμα OpenFoam (το πρόγραμμα OpenFoam χρησιμοποιήθηκε για το σύνολο των προσομοιώσεων).

Αρχικά καταστρώθηκε το πρόβλημα και εισήχθησαν τα δεδομένα (πλέγμα, αρχικές συνθήκες και οι κατάλληλες εξισώσεις ώστε να έχουμε αργότερα σωστά αποτελέσματα). Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα ParaView, έτσι μας δόθηκε η δυνατότητα να αξιολογήσουμε τα αποτελέσματα και στη συνέχεια να τα συγκρίνουμε με τα πειραματικά και τα υπολογιστικά αποτελέσματα.

Τέλος καταγράφονται συγκεντρωτικά τα συμπεράσματα, σχόλια και παρατηρήσεις που αφορούν το σύνολο των αποτελεσμάτων. Η όλη πραγματοποιηθείσα ανάλυση φανερώνει τις δυνατότητες των αριθμητικών μοντέλων στον προσδιορισμό και την πρόβλεψη σημαντικών μεγεθών που μπορούν έμμεσα να χρησιμοποιηθούν για τον σχεδιασμό σύγχρονων υδραυλικών έργων.

Λέξεις Κλειδιά: : *Λίμνη Κάρλα, 3-D υδροδυναμικό μοντέλο, τυρβώδη μοντέλο, ποιότητα νερού.*

***Water quality simulation for the reconstituted lake Karla,
Thessaly, Greece***

KALOGIANNI D.¹, SARRIS I.E.^{1,2}, LIAKOPOULOS A.¹

¹ Hydromechanics & Environmental Engineering Laboratory, Department of Civil Engineering, University of Thessaly, Volos, Greece

² Department of Mechanical Engineering, University of Thessaly, Volos, Greece

Abstract

Lake Karla, a lake that was completely drained in 1962, is being reconstituted as a smaller reservoir. The restoration process aims to help satisfy the needs of Volos in potable water and partially restore the water table in the eastern plains of Thessaly. Hydrodynamic and pollutant transport modeling in the closed water body of the lake requires a detailed knowledge of the transport processes that take place within the body. Essential elements for life and productivity such as oxygen, heat, and nutrients are transported and dispersed through these processes. These processes cause the dilution of pollutants through mixing with the ambient water resulting in their reduced impact on near shore areas.

We report on three-dimensional flow simulations of the dominant water flow patterns in the reconstituted lake Karla, using OpenFoam. The water quality model incorporates the effects of temperature, nitrogen, phosphorous, light history, algae density and phytoplankton. Eddy viscosity values are computed using the standard k- ϵ turbulence model which calls for the solution of two additional PDEs, an equation for the kinetic energy of turbulence, k, and an equation for the turbulence kinetic energy dissipation rate per unit mass, ϵ .

Various wind directions and magnitudes are considered. The resulting water motion is highly by the depth and the contour of the lake boundaries. We discuss the way water recirculation currents are influenced by the wind and the reservoir geometry. Based on the numerical results, empirical or statistical models (such as the Vollenweider or the Ciecka – Fabian – Merilatt or the Chapra – Reckhow model) are used to predict possible critical values of phosphate load in order to control algae growth in the water.

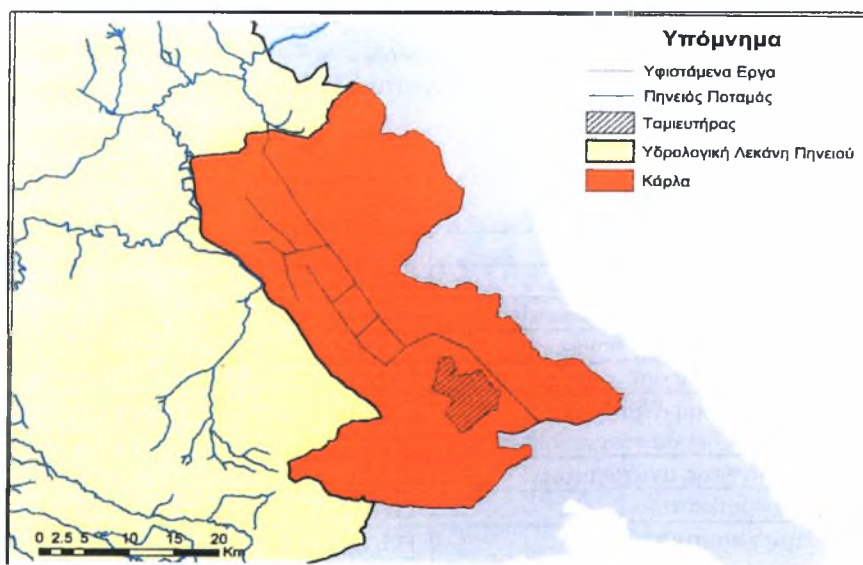
Keywords: Lake Karla, 3-D hydrodynamic model, turbulence model. water quality mode

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

1. Εισαγωγή

Η περιοχή της Κάρλας και οι πέριξ αυτής περιοχές καταλαμβάνουν τη νότια απόληξη της Θεσσαλικής πεδιάδας. Η έκταση αυτή στο νότιο τμήμα της ορίζεται από τις παρυφές του όρους Πήλιο και στα ανατολικά – βορειοανατολικά από το όρος Μαυροβούνι. Η ακαθόριστη έκταση τους ανέρχεται σε 169.000 στρέμματα και η καθαρή καλλιεργήσιμη γη σε 146.000 στρέμματα.

1. Οι εκροές νερού από τη λίμνη οφείλονταν κυρίως στην εξάτμιση και τις απώλειες νερού από τον πυθμένα και τις όχθες της. Η εισροή σημαντικών όγκων νερού, σε συνδυασμό με το μικρό βάθος της λίμνης, ευνοούσαν την ιχθυοπαραγωγή, την υδρόβια βλάστηση και τη φιλοξενία υδρόβιων πτηνών. Μελέτη συμπληρωματικών αντιπλημμυρικών έργων και έργων ορεινής υδروνομίας στη λεκάνη της λίμνης Κάρλας. (Οριστική Μελέτη Δασοτεχνικών Έργων.)



Σχήμα: 1.1 : Η λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας (Μπακαλιάνος Δημήτρης, 2010).

Η περιοχή είναι επιμήκης με πλάτος περίπου 8 km και μήκος περίπου 25 km και ουσιαστικά αποτελεί τις δυτικές παρυφές του όρους Μαυροβουνίου. Ένα πολύ ιδιαίτερο στοιχείο της περιοχής είναι το σύνθετο φυσικό και τεχνητό υδρογραφικό

δίκτυο που τη διασχίζει, καθώς και οι πολυάριθμες επιφανειακές υδατοσυλλογές, στις οποίες αναπτύσσονται ποικίλης αξίας οικοσυστήματα.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η συνολική έκταση των λεκανών απορροής, ανέρχεται σε 316 km², ενώ οι επιμέρους εκτάσεις των λεκανών που αφορούν τη παρούσα οριστική μελέτη δείχνονται στο παρακάτω πίνακα.

Λεκάνη απορροής	Εμβαδόν (km ²)
Λ7α	10.0
Λ7α1	2.1
Λ7α2	2.4
Λ7β	25.0
Λ7γ	87.0
Λ9	10.0
Λ9.1	3.3
Λ9.2	2.2
Λ9.3	1.4
Λ11	20.0
Λ11.1	15.5
Λ13α	17.3
Λ13β	15.7
Λ13γ	42.1
Λ13γ1	9.2
Λ13γ2	27.3
Λ13γ3	5.6

Πίνακας: 1.1 (Μελέτη συμπληρωματικών αντιπλημμυρικών έργων και έργων ορεινής υδρονομίας στη λεκάνη της λίμνης Κάρλας. Οριστική Μελέτη Δασοτεχνικών Έργων.)

Τιμευτήρας	42.000 στρ.
Μήκος δυτικού αναχώματος	10.840 μ., μέσου ύψους 7,60 μ.
Μήκος ανατολικού αναχώματος	2.660 μ., μέσου ύψους 4,50 μ.
Κατωτάτη στάθμη αρδεύσεως	+45,30 μ.
Ανωτάτη στάθμη αρδεύσεως	+48,80 μ.
Ανωτάτη στάθμη ανίσχυσης πλημμυρών	+50,00 μ.
Στάθμη στέψεως αναχώματος	+52,00 μ.
Νεκρή χωρητικότητα	13x10 ⁶ μ ³ (50 χρόνια)
Ωφέλιμη χωρητικότητα (όγκος υδάτων για τις αρδεύσεις, συμπεριλαμβανομένων των απωλειών)	135x10 ⁶ μ ³
Χωρητικότητα ανάσχεσης πλημμυρών	50x10 ⁶ μ ³
Συνολική χωρητικότητα	198x10 ⁶ μ ³

Πίνακας : 1.2 : Πηγή: ΥΠΕΧΩΔΕ (1998, σ. 5.1).

Όσον αφορά στις υψομετρικές ζώνες και τα λοιπά υψομετρικά χαρακτηριστικά των υπόψη λεκανών, αυτά δείχνονται στον παρακάτω πίνακα.

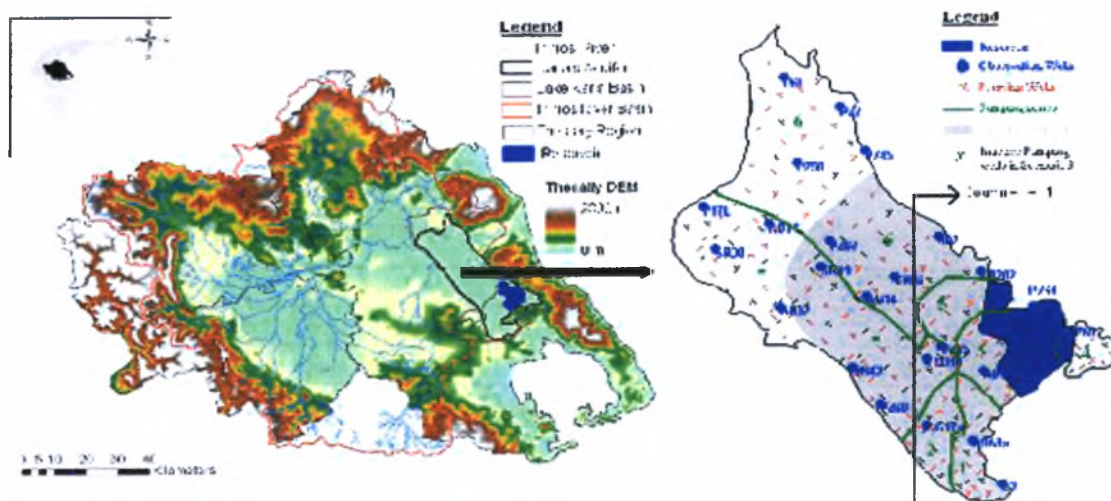
Λεκάνη απορροής	Υπερθαλάσσιο ύψος			Υψομετρική ζώνη
	Μέσο	Κατώτερο	Ανώτερο	
Λ7α	220	70	492	Ημιορεινή
Λ7β	340	90	1230	Ημιορεινή
Λ7γ	390	70	1519	Ημιορεινή
Λ9	170	70	346	Πεδινή
Λ11	420	55	940	Ημιορεινή
Λ13α	440	45	834	Ημιορεινή
Λ13β	410	45	801	Ημιορεινή
Λ13γ	420	60	964	Ημιορεινή

Πίνακας: 1.3 Υψομετρικές ζώνες. (Μελέτη συμπληρωματικών αντιπλημμυρικών έργων και έργων ορεινής υδρονομίας στη λεκάνη της λίμνης Κάρλας. Οριστική Μελέτη Δασοτεχνικών Έργων.)

Στα παλιά χρόνια η λίμνη Κάρλα ήταν λίμνη στη Θεσσαλία τριγυρισμένη παντού από βουνά και ήταν σε υψηλότερο υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας. Από σεισμούς προκλήθηκε ρήγμα στα σημερινά Τέμπη και χωρίστηκε η Όσσα από τον Όλυμπο, οπότε βρήκε διέξοδο προς την θάλασσα ο Πηνειός και η περιοχή αποστραγγίστηκε. Ωστόσο απομένει η λίμνη Νεσσώνις και η Βοιθής μικρότερη και πλησιέστερα στα παράλια.

Η έκταση που καταλάμβανε η λίμνη δεν ήταν σταθερή αλλά μεταβαλλόταν ανάλογα με τις εισροές και εκροές του νερού. Το χειμώνα του 1920-21 εξαιτίας των μεγάλων πλημμύρων του Πηνειού η λίμνη καταλάμβανε μεγαλύτερη έκταση στον αιώνα μας, περίπου 180.000 στρέμματα με στάθμη 50 m πάνω από τη θάλασσα. Η κατασκευή αντιπλημμυρικών αναχωμάτων στο δεξιό ανάχωμα του Πηνειού βόρεια της Λάρισας από το 1936-1940 περιόρισε την υπερχειλίση του με το ασμάκι και κατά συνέπεια την επιφάνεια της λίμνης.

Το μέγιστο βάθος της από 5.5 m που ήταν πριν το 1940 μειώθηκε στα 2 m το 1950 – 51, αν και πλημμύρισε η περιοχή το 1954 – 55. Οι διακυμάνσεις της στάθμης, οι πλημμύρες της περιοχής, η δημιουργία περισσότερων γεωργικών εκτάσεων και η μείωση των αλιευμάτων συντέλεσαν στην ολική αποξήρανση της λίμνης το 1962 παρά τις σχετικές μελέτες που δεν προέβλεπαν κάτι τέτοιο.



Σχήμα:1.2 : Χάρτης Θεσσαλίας με τη λεκάνη, τον υπόγειο υδροφόρο και τον ταμιευτήρα της Κάρλας (<http://www.google.gr/images?q=λίμνη+καρλα>).

Τα χωριά της Κάρλας που ήταν κοντά στη λίμνη και επηρεάζονταν άμεσα ή έμμεσα από αυτήν ήταν: Κανάλια, Καλαμάκι, Αμυγδαλή, Καστρί, Πλασσιά, Νάματα, Αρμένιο, Νίκη, Αχιλλείο, Στεφανοβίκειο, Ριζόμυλος, Κεραμίδι, Γλαύκη, Μελία, Σωτήριο, Έλαφος, Πλατύκαμπος κ.α.

Η Κάρλα ήταν ένας από τους σπουδαιότερους υγρότοπους στην Ελλάδα και στα Βαλκάνια. Η ορνιθοπανίδα της περιοχής της λίμνης της Κάρλας υπολογίζεται σε 1.000.000 πουλιά που διαβιούσαν στην περιοχή, ο μεγαλύτερος αριθμός υδρόβιων πουλιών σε Ελληνικό υγρότοπο. Λίγο μετά την αποξήρανση ο αριθμός των πουλιών εκτιμήθηκε σε 450.000 ενώ σήμερα έχει μειωθεί σημαντικά. Τα 143 είδη πουλιών από τα οποία τα 55 είδη είναι υπό προστασία σήμερα, είναι εντυπωσιακός αριθμός.

Η έντονη πτώση του υδροφόρου ορίζοντα αποτελεί σημαντική απώλεια της παραλίμνιας χλωρίδας και πανίδας. Οι έντονες κλιματικές αλλαγές, καθώς και οι έντονες κοινωνικοοικονομικές αλλαγές στις παρακάρλιες περιοχές έφεραν το μαρασμό τους.

Που πήγαν όλα αυτά τα πουλιά; Διασκορπίστηκαν στους άλλους υγρότοπους της Ελλάδας ή έφυγαν από την χώρα μας για πάντα; Θα μπορούσε άραγε η αποκατάσταση της λίμνης Κάρλας να αυξήσει τους πληθυσμούς υδρόβιων πουλιών στην Ελλάδα; Οι ταμιευτήρες που κατασκευάστηκαν τα τελευταία χρόνια στο Καλαμάκι και τα Κανάλια έδειξαν ότι η ορνιθοπανίδα επιστρέφει στην περιοχή.

Η Κάρλα είχε και πολλά είδη ψαριών, τα περίφημα καρλιώτικα ή καρλίσια ψάρια. Πολλές επομένως ήταν οι οικογένειες, πάνω από χίλιες που ζούσαν από την αλιεία στη λίμνη (Σταυροθεωδόρου Ελένη, 2010).

Η ανασύσταση λοιπόν της λίμνης Κάρλα – Βοιβηίδας αναδεικνύει το πρόβλημα της αιφορικής διαχείρισης των υδατικών πόρων που είναι άρρηκτα συνδεδεμένοι με το ευρύτερο εθνικό και παγκόσμιο πρόβλημα της προστασίας του περιβάλλοντος με παράλληλο σεβασμό στην πολιτιστική μας κληρονομιά.

2. Η ζωή στην Κάρλα πριν και μετά την αποξήρανση

Στην περιοχή της Κάρλας οι κάτοικοι για να ζήσουν ψάρευαν γιατί η Κάρλα είχε πολλά ψάρια και οι κάτοικοι των χωριών γύρω από αυτήν ασχολούνταν με την αλιεία. Πηγές αναφέρουν ότι πάνω από 1.000 άτομα ψάρευαν στη λίμνη. Μέχρι το 1962 που αποξηράνθηκε η Κάρλα υπήρχε στην περιοχή του Καλαμακίου ένας λιμναίος οικισμός, μοναδικός στην Ελλάδα με 100 και επιπλέον καλύβες. Ομάδες ανδρών 2-5 ατόμων έφευγαν κυρίως από τα χωριά της Μαγνησίας και πήγαιναν βόρεια προς τα χωριά της Λάρισας, προς το Καλαμάκι. Εκεί τα νερά της λίμνης ήταν ρηχά και έφτιαχναν καλύβες από καλάμια πάνω στην επιφάνεια της λίμνης. Οι Καναλιώτες έφευγαν το δεκαπενταύγουστο και γύριζαν πριν το Πάσχα, την Κυριακή των Βαΐων σε ομάδες 2-5 ατόμων.

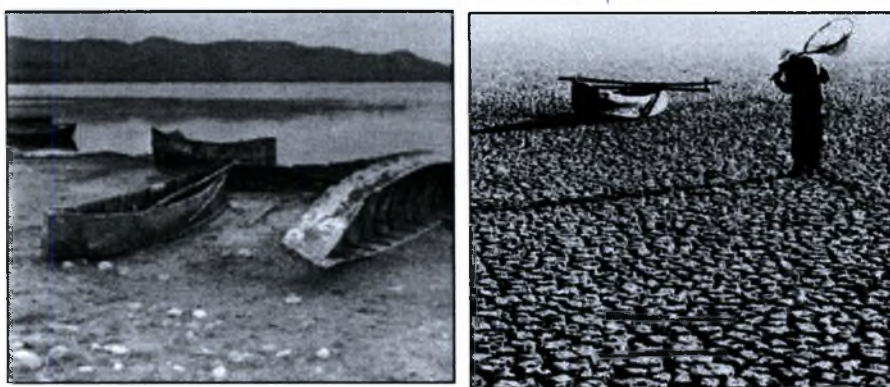
Οι ψαράδες της Κάρλας βρήκαν δικούς τους τρόπους αλιείας, όπως δίχτυα, τράτες, μακάρα, κατίκια, μανδράκια. Οι βάρκες τους που τις έλεγαν «καράβια» ήταν μοναδικές. Δεν είχαν καρίνα και στο πίσω μέρος της είχαν ένα δοκάρι που υποβάσταζε τα κουπιά. Υπήρχαν 3 ιχθυόσκαλες που λειτουργούσαν ως το 1962.



Σχήμα: 2.1.: Καναλιώτικη καλύβα μέσα στη λίμνη (φωτογραφία του Δημήτρη Τλούπα, λήψη 1952, φωτογραφικό αρχείο Δ. Τλούπα, αρ. 346).

Από όλα αυτά τα παραπάνω αντιλαμβανόμαστε ότι η Κάρλα έπαιξε σημαντικό ρόλο στη ζωή των παρακάρλιων κατοίκων από την αρχαιότητα ως την αποξήρανσή της (Σταυροθεωδόρου Ελένη, 2010).

Η λίμνη αποξηράνθηκε το 1962 με απόφαση της πολιτείας βασικά για την εξασφάλιση καλλιεργήσιμων εκτάσεων που θα αποκαλύπτονταν από την αποστράγγιση των επιφανειών. Για το σκοπό αυτό κατασκευάστηκε σήραγγα που διοχέτευσε τα νερά της λίμνης στον Παγασητικό κόλπο (Νεβεσκιώτης Θ. Χαρίσιος, 2010). Το ζήτημα της εκτέλεσης αντιπλημμυρικών έργων και άρδευσης των κτημάτων απασχόλησε κατά καιρούς τις κυβερνήσεις της νεότερης Ελλάδας αρχής γενομένης από την κυβέρνηση Τρικούπη το 1887 που δεν τελεσφόρησαν οι προσπάθειές της. Η αρχική μελέτη (Nobile 1913) κατασκευή ταμιευτήρα, ενός υγροτόπου 45.000στρ. στην ίδια θέση που η λίμνη είχε το χαμηλότερο υψόμετρο, που θα μπορούσε να αρδεύσει τα Παρακάρλια χωριά.



Σχήματα : 2.2 : Ιχθυόσκαλα (φωτογραφία της Βούλας Παπαϊωάννου, λήψη ~1955, φωτογραφικό αρχείο Μουσείου Μπενάκη, αρ. αρνητικού Β. 6317).

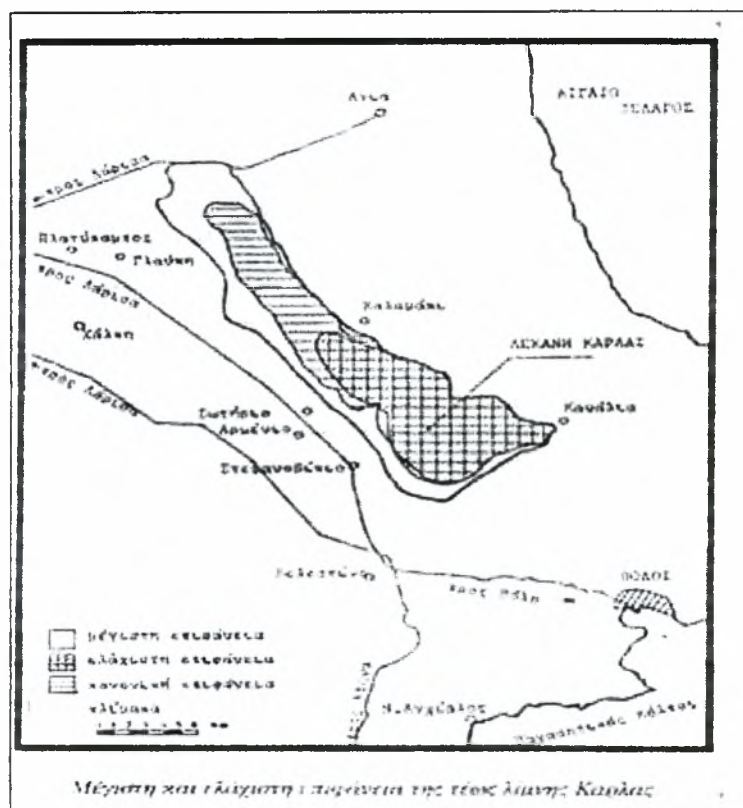
Την περίοδο 1936-41 έγιναν μικρά έργα χωρίς συντονισμό και ήταν τοπικού χαρακτήρα. Το 1959 ανατέθηκε μελέτη από το Υπουργείο Γεωργίας για την αξιοποίησή της πεδιάδας της Κάρλας με δεδομένα την κατασκευή ταμιευτήρα 64.700 στρεμμάτων, σήραγγας και τάφρων πεδινών υδάτων. Η λίμνη θα χρησιμοποιούνταν για άρδευση με αρδευτικά κανάλια και θα τροφοδοτούνταν με νερά του Πηνειού. Με τη κατασκευή της σήραγγας που άρχισε τον Ιανουάριο του 1957 και τελείωσε τον Οκτώβριο του 1962, άρχισε η εκκένωση της λίμνης που ολοκληρώθηκε το 1962.

Τα δυσμενή αποτελέσματα της αποξήρανσης άρχισαν να παρουσιάζονται σταδιακά αρκετά χρόνια αργότερα. Η κατασκευή της σήραγγας δεν ήταν έγκλημα, όπως έγραψε ο τοπικός τύπος, έγκλημα ήταν που οι αρμόδιοι φορείς δεν προχώρησαν στην αποκατάσταση της λίμνης, όπως αρχικά είχε προγραμματιστεί (Σταυροθεωδόρου Ελένη, 2010).

Η αποξήρανση της Κάρλας αναδεικνύει ένα τμήμα της τεχνικής κληρονομιάς σε ότι αφορά τα αποξηραντικά έργα, αλλά επέφερε ωστόσο ριζικές οικολογικές και κοινωνικοοικονομικές αλλαγές στους παράλιους οικισμούς, όπου αναγνωρίζεται μια παθητική προσαρμογή των ανθρώπων με έντονη αλιευτική παράδοση στο νέο

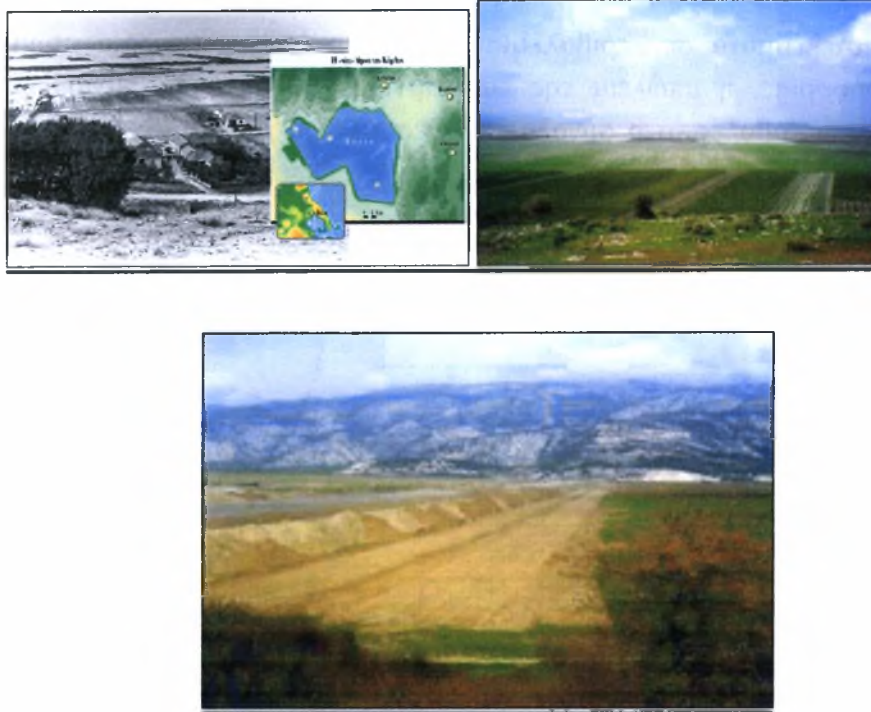
περιβάλλον, μεταβολή των παραγωγικών δραστηριοτήτων και ένας οικονομικός μαρασμός προκαλώντας ένα αυξημένο κύμα αστυφιλίας .

Τα αποτελέσματα σε περιβαλλοντικό επίπεδο ήταν η ραγδαία πτώση της υπόγειας υδροφορίας, η απώλεια της παραλίμνιας χλωρίδας και πανίδας και οι κλιματολογικές μεταβολές (στο σύνολο του Θεσσαλικού χώρου), (Νεβεσκιώτης Θ. Χαρίσιος, 2010).



Σχήμα:2.3 : Μέγιστη και ελάχιστη επιφάνεια της τέως λίμνης Κάρλας.

3. Η Κάρλα σήμερα



Σχεδόν 40 χρόνια μετά την αποξήρανσή της η Κάρλα ξαναγίνεται λίμνη. Όχι τόσο μεγάλη όσο την έκανε η φύση, αλλά πάντως ένα βασικό τμήμα της επαναδημιουργείται. Και αυτό γιατί στα χρόνια που πέρασαν καλλιεργητές και κράτος κατέληξαν στην κοινή διαπίστωση: η φύση εκδικείται για τις ανθρώπινες επεμβάσεις.

Η έναρξη της επαναδημιουργίας της λίμνης οδήγησε και στην εμφάνιση περιορισμένου αριθμού πουλιών φοινικόπτερων για πρώτη φορά, γεγονός που θα αποτελέσει αντικείμενο περαιτέρω παρακολούθησης από τον Φορέα Διαχείρισης Περιοχής Οικοανάπτυξης Κάρλας - Μαυροβουνίου - Κεφαλόβρυσου - Βελεστίνου (Π.Ο.Κα.Μα.Κε.Βε). Παράλληλα έχουν παρατηρηθεί ζευγάρια Μαυροπελαργών και γενικά το περιβάλλον της προς ανασύσταση λίμνης δείχνει να ανταποκρίνεται θετικά στις έως σήμερα παρεμβάσεις.

Οι επιστήμονες και οι οικολογικές οργανώσεις εκτιμούν ότι περίπου 160 είδη πουλιών θα ζήσουν στη λίμνη όταν καλυφθούν και τα 40.000 στρέμματα της έκτασής της από νερό. Εκτός από είδη πτηνών που δεν απειλούνται και θεωρούνται κοινά, στην Κάρλα θα μπορέσουν να ζήσουν και κάποια είδη πτηνών, τα οποία ανήκουν στην κατηγορία των παγκοσμίως απειλούμενων.

Μάλιστα, σύμφωνα με τους επιστήμονες, η λίμνη θα αποτελέσει πόλο έλξης για είδη πανίδας, όπως η βαλτόπαπια, το κιρκινέζι και ο αργυροτσικνιάς, ήτοι είδη, που ο πληθυσμός τους έχει συρρικνωθεί. Ωστόσο, με τη συγκεκριμένη εξέλιξη θα

πρέπει να επισημανθεί και η ανάγκη πλέον για την προστασία όλης αυτής της χλωρίδας και της πανίδας στην περιοχή ειδικά από τους λαθροκυνηγούς.

Τα χωράφια που προήλθαν από την αποξήρανση της Κάρλας, έκτασης περίπου 78.000 στρεμμάτων, δεν απέδωσαν τα αναμενόμενα οφέλη, αφού πλημμύριζαν με την πρώτη βροχή και οι παραγωγοί ζούσαν στην ανασφάλεια. Επιπλέον ποτέ δεν έγινε διανομή αγροτικής γης. Οι ακτήμονες καλλιεργητές εκμίσθωναν με συμβολικό τίμημα κάθε χρόνο τις εκτάσεις. Αλλοτε οι καλλιεργητές υπενοικίαζαν τις εκτάσεις που τους δίδονταν. Υπήρξαν και άτομα που παρουσίασαν τίτλους ιδιοκτησίας από την Τουρκοκρατία επί των χωραφιών που δημιουργήθηκαν από την αποξήρανση της λίμνης.

Τα κτήματα της Κάρλας όμως άρχισαν να γίνονται βούρκος. Τα άλατα που είχαν συσσωρευθεί στο έδαφος από την πρώην λίμνη δεν ευνοούσαν τις καλλιέργειες. Επιπλέον στην πρώτη νεροποντή η περιοχή ξαναγινόταν λίμνη. Το 1962 στη λίμνη των 130.000 στρεμμάτων κατασκευάστηκε μια σήραγγα και τα νερά της διοχετεύτηκαν στον Παγασητικό. Το συνολικό έργο προέβλεπε τον εγκιβωτισμό και τη δημιουργία μικρής τεχνητής λίμνης, καθώς και την κατασκευή αρδευτικού και αποστραγγιστικού δικτύου, τα οποία δεν έγιναν ποτέ. Αντίθετα η σήραγγα πολλές φορές ήταν φραγμένη και η σοδειά καταστρεφόταν.

Υπήρχαν και οι ψαράδες της Κάρλας, που έμειναν χωρίς εισόδημα μετά την αποξήρανσή της. Οι άνθρωποι αυτοί εκ των πραγμάτων έγιναν γεωργοί. Οι ισορροπίες ανατράπηκαν. Ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας άρχισε να μειώνεται επικίνδυνα. Τα νερά σε ορισμένα σημεία έγιναν υφάλμυρα.

Η κατάσταση έφθασε στο απροχώρητο. Και το ΥΠΕΧΩΔΕ, ως αρμόδιο υπουργείο για το περιβάλλον, έπειτα από εμπειρισταωμένη μελέτη, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η λίμνη πρέπει να επαναδημιουργηθεί, τουλάχιστον σε ένα τμήμα της, έκτασης 38.000 στρεμμάτων.

Σε περίπου τρία χρόνια η Κάρλα θα είναι και πάλι λίμνη. Τότε θα μπορεί να δέχεται και επισκέπτες για τουρισμό, για αναψυχή, για ψάρεμα. Ο σχετικός διαγωνισμός που διενήργησε το ΥΠΕΧΩΔΕ για το κυρίως έργο διαμόρφωσης της λίμνης, ολοκληρώθηκε. Εκδόθηκε και η υπουργική απόφαση για την ανάθεση του έργου στη μειοδότηρα κοινοπραξία, που αποτελείται από τις εταιρείες Αττι-Κατ ΑΤΕ, Αθηνά ΑΕΤΒ & ΤΕ, ΕΚΤΕΡ ΑΕ. Το έργο περιλαμβάνει τη διαμόρφωση και τροφοδοσία της λίμνης, με την κατασκευή περιμετρικών αναχωμάτων, προσαγωγούς συλλεκτήρες και αντλιοστάσια. Απομένουν έργα, που αφορούν τη διαμόρφωση εξωτερικών υγροτοπικών εκτάσεων, υποδομές τουριστικής ανάπτυξης, αρδευτικά έργα και υποδομές έργων ύδρευσης του Βόλου.

Στην τελική μορφή του το έργο θα περιλαμβάνει εκτός από τις τρεις νησίδες, κέντρο πληροφόρησης, μουσείο φυσικής ιστορίας, προβλήτα, εστιατόρια στην παραλία, καλαμώνες, υγρολίβαδα. Ίσως και ξεναγούς, που θα εξηγούν στους επισκέπτες τη σύνδεση της λίμνης της Κάρλας με την ιστορία του θεσσαλικού κάμπου.

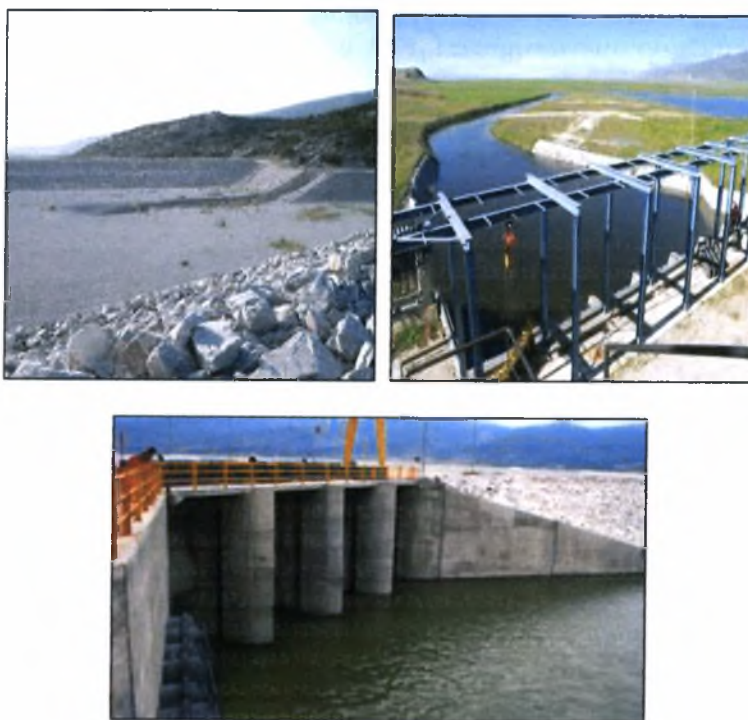
4. Η εξέλιξη του έργου της επαναδημιουργίας

Από το 1982 άρχισε να μελετάται η επαναδημιουργία της λίμνης. Το 1995, κατά τη σύνταξη της μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων, διαπιστώθηκε ότι παρουσιάζεται μια μοναδική ευκαιρία για μερική αποκατάσταση του βιοτόπου της Κάρλας. Έτσι οι προσπάθειες εστιάστηκαν στον σχεδιασμό ενός έργου πολλαπλής σκοπιμότητας, που θα λειτουργήσει σταδιακά, με βάση τις αρχές της αειφορίας, προς όφελος τόσο του φυσικού όσο και του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος.



Σχήμα: 4.1: Φωτογραφίες από το έργο της επαναδημιουργίας

(<http://www.google.gr/images?q=λίμνη+καρλα>)



Σχήμα: 4.2: Αριστερά ο βυθός της πρώην και της μελλοντικής λίμνης Κάρλας , δεξιά και κάτω η υπό ανασύσταση λίμνη Κάρλα και τα έργα που γίνονται στη λίμνη.

(<http://www.google.gr/images?q=λίμνη+καρλα>)

Η δημιουργία της νέας λίμνης, στο χαμηλό τμήμα της περιοχής της παλαιάς, θα καταλαμβάνει έκταση 38.000 στρεμμάτων και θα περιβάλλεται από τους γύρω ορεινούς όγκους. Όπου αυτοί δεν υπάρχουν θα δημιουργηθούν αναχώματα συνολικού μήκους 13 χλμ. Στη λίμνη θα παροχετεύονται τα νερά της ευρύτερης λεκάνης απορροής μέσω τεσσάρων κυρίων χωμάτων συλλεκτών, συνολικού μήκους 39 χλμ., καθώς και τα χειμερινά νερά του Πηνειού ποταμού, που θα αποτελούν το 60% της τροφοδοσίας της λίμνης. Η χωρητικότητά της σχεδιάστηκε για την αντιπλημμυρική προστασία της γύρω πεδιάδας.

Για τη στήριξη της υδρόβιας ορνιθοπανίδας, το εσωτερικό των αναχωμάτων της λίμνης θα διαμορφωθεί κατά τόπους βαθμιδωτά. Επίσης μέσα στη λίμνη θα κατασκευασθούν τρία νησάκια.

Η περιοχή γύρω από τη λίμνη θα φυτευθεί για να λειτουργήσει το φυσικό οικοσύστημα που θα προκύψει. Παραλίμνια υδροτοπικά συστήματα θα λειτουργούν ως φυσικό σύστημα καθαρισμού των υδάτων, πριν από τη διοχέτευσή τους στη λίμνη.

Προβλέπεται η κατασκευή ενός εξωτερικού υδροτόπου-αναθρεπτήρα για την αναπαραγωγή και τον εμπλουτισμό της λίμνης με ιχθυοπανίδα, καθώς και ιχθυοδιόδων για την ελεύθερη επικοινωνία των ψαριών. Επίσης θα κατασκευασθούν έργα υποδομής για την οργάνωση ήπιων τουριστικών δραστηριοτήτων.

Εκτιμάται ότι με την επαναδημιουργία της λίμνης θα αρδευθούν οι γύρω περιοχές σε έκταση 92.500 στρεμμάτων. Από αυτήν τα 50.000 στρέμματα θα αρδεύονται προσωρινά μέσω του δικτύου των τάφρων που υπάρχουν, οι οποίες θα συμπληρωθούν με νέα έργα. Η υπόλοιπη έκταση των 42.500 στρεμμάτων θα εξυπηρετηθεί με μόνιμα, πλήρη δίκτυα.

Με τον τρόπο αυτό θα αναδιαρθρωθεί η διαχείριση του υπόγειου υδατικού δυναμικού, ώστε να περισσέψει νερό, το οποίο θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση της υδροδότησης της πόλης του Βόλου.

Το σχέδιο αναδιάρθρωσης των καλλιεργειών προβλέπει τη μείωση της καλλιέργειας του βαμβακιού και την αύξηση της αμειψισποράς και των βιολογικών καλλιεργειών, ώστε να μειωθεί η χρήση των αγροχημικών στην ευρύτερη περιοχή.

Η επαναδημιουργία της λίμνης των 38.000 στρεμμάτων (η λίμνη των Ιωαννίνων έχει έκταση 22.000 στρέμματα) αναμένεται να αλλάξει σταδιακά τον χαρακτήρα της περιοχής. Στόχος είναι να αποκατασταθούν ενέργειες του παρελθόντος, που με τα σημερινά δεδομένα αποτιμώνται ως μερικώς λανθασμένες, αλλά και να επαναλειτουργήσει το φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον με βάση τις αρχές της αειφόρου ανάπτυξης.

Η επανασύσταση της λίμνης της Κάρλας και η ανασυγκρότηση όλων των άλλων υποδομών για την υδροδότηση και άρδευση, είναι εξαιρετικά σημαντικές για την περιβαλλοντική και παραγωγική ανασυγκρότηση της ευρύτερης περιοχής. Πρόκειται για ένα μεγάλο έργο, όχι μόνο για τη Μαγνησία αλλά και για τη Θεσσαλία. Συμβολίζει τη μεγάλη στροφή της χώρας σε έργα επανάκτησης περιβαλλοντικών απωλειών του παρελθόντος.

Το έργο της επαναδημιουργίας της λίμνης Κάρλας με 160.000 κυβικά μέτρα επιφανειακών υδάτων, είναι ένα έργο πολλαπλής σκοπιμότητας και ωφέλειας που, που συντελεί στη περιβαλλοντική αναβάθμιση της ευρύτερης περιοχής, στην αντιπλημμυρική προστασία, στην αποκατάσταση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα παρά τη περιοχή της λίμνης, στην εξασφάλιση επιφανειακού νερού για την άρδευση 100.000 στρεμμάτων, σε πρώτη φάση, που σήμερα αρδεύονται με γεωτρήσεις, στην ενίσχυση της ύδρευσης του Βόλου με 15 εκατ. κυβικά μέτρα νερού ετησίως, δηλαδή το 50% των αναγκών της πόλης, με την εξεύρεση επαρκών ποσοτήτων νερού από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα στην οικοτουριστική και οικονομική ανάπτυξη της περιοχής.

Εκτός όμως από τις προφανείς αυτές ωφέλειες, η λίμνη της Κάρλας στη Μαγνησία μαζί με τους ταμιευτήρες της Γυρτώνης και του Σμοκόβου στη Λάρισα και τη Καρδίτσα και με τα άλλα έργα εγγείων βελτιώσεων που προγραμματίζονται ή εκτελούνται στη Θεσσαλία θα αξιοποιήσουν αποτελεσματικά το υδατικό δυναμικό της λεκάνης του Πηνειού, έτσι ώστε να μπορεί να προσδιοριστεί και να υποστηριχθεί στα αρμόδια όργανα της ΕΕ η αναγκαιότητα ενίσχυσης με τους απαιτούμενους υδατικούς πόρους από τη λεκάνη του Αχελώου. (<http://www.yme.gr/?aid=2762&tid=21>)

Οι εκπονούμενες μελέτες άρχισαν από την περίοδο του 1911-1913, από την μελέτη του Ιταλού μηχανικού Mobile, σύμφωνα με την οποία προβλεπόταν η κατασκευή των αναχωμάτων εγκιβωτισμού του Πηνειού, η διάνοιξη σήραγγας με σκοπό την αποξήρανση της λίμνης Κάρλας και η δημιουργία ταμιευτήρα σε τμήματα της αποξηραμένης λίμνης, για την ανάσχεση των νερών της πλημμύρας και αποταμίευση νερού για άρδευση.

Την περίοδο 1920-1921. ο Jackson και ο Macdonald από μια αγγλική εταιρία πρότειναν παρεμβάσεις στην περιοχή. Το 1927 έγινε χαρτογράφηση της περιοχής και διανομή κλήρων σε κατοίκους των χωριών.

Την περίοδο 1938-1939 έγιναν τα έργα διευθέτησης του χειμάρρου Γκουσμπασανιώτη για την αντιπλημμυρική προστασία της περιοχής Πλατύκαμπου. Όλες αυτές οι παρεμβάσεις είχαν θετικά αποτελέσματα στις περιοχές που έγιναν, αλλά συγχρόνως συνέτειναν στη διόγκωση της λίμνης και στην αχρήστευση καλλιεργήσιμων εκτάσεων από την εισβολή των νερών στις χαμηλότερες παρακάρλιες περιοχές.

Το 1949-1950 έγιναν τα πρώτα οργανωμένα έργα στη λεκάνη απορροής της Κάρλας από την εταιρία BOOT LTD. Το 1951 έγινε η διάνοιξη της κύριας τάφρου Τ₁. Το 1952 έγινε η αποτύπωση των εκτάσεων της λίμνης, η δημιουργία τοπογραφικών διαγραμμάτων και κτηματολογικού χάρτη.

Το 1953 ανατέθηκε στον μηχανικό Ι. Παπαδάκη από το Υπουργείο Γεωργίας, η εκπόνηση προμελέτης εγγειοβελτιωτικών έργων παρακαρλίου περιοχής. Η συνολική έκταση της περιοχής αυτής είναι 197.000 στρέμματα.

Η μελέτη αυτή τελείωσε το 1954 και προέβλεπε κατασκευή αρδευτικού και αποστραγγιστικού δικτύου που να αποτελείται από τάφρους και διώρυγες. Το 1959 ανατέθηκε οριστική μελέτη στο γραφείο Ν. Νικολαΐδη για την αξιοποίηση της

πεδιάδας Λάρισας-Κάρλας και με δεδομένη την κατασκευή του ταμιευτήρα 64.700 στρεμμάτων καθώς και των άλλων έργων. Με βάση την μελέτη του Νικολαΐδη άρχισε η κατασκευή της χωρίς όμως την παράλληλη κατασκευή του φράγματος για μετατροπή της λίμνης σε υδαταποθήκη. Έτσι το 1961, έτος ολοκλήρωσης κατασκευής της σήραγγας, άρχισε και η εκκένωση της υδάτινης μάζας της λίμνης στον Παγασητικό κόλπο. Η αποξήρανση της λίμνης ολοκληρώθηκε το 1962. Παράλληλα έγινε διάνοιξη των τάφρων αποστράγγισης πεδινών υδάτων 2Τ, 3Τ, 4Τ, 5Τ και 6Τ που πρότεινε η μελέτη Παπαδάκη.

Το 1977 εκπονήθηκε Προκαταρκτική Μελέτη Αντιπλημμυρικών και Αποστραγγιστικών Έργων Μείζονος Περιοχής Κάρλας από το γραφείο ΑΛΦΑ – ΩΜΕΓΑ.

Το 1980, το Υπουργείο Δημοσίων Έργων ανέθεσε στα συνεργαζόμενα γραφεία ΑΛΦΑ-ΩΜΕΓΑ Ν. Νικολαΐδη – Εξάρχου τη σύνταξη Προμελέτης του Ταμιευτήρα Κάρλας μαζί με τα έργα υδροδότησής του. Σύμφωνα με την τελευταία μελέτη η έκταση του ταμιευτήρα πρέπει να είναι 42.000 στρέμματα.

Το 1984 εκπονήθηκε με μέριμνα του Υπουργείου Προεδρίας – Υπηρεσίας Νέας Γενιάς μελέτη με τίτλο <<Επιπτώσεις Αποξήρανσης Λίμνης Κάρλας – Ενιαίος Φορέας Καλλιέργειας Ταμιευτήρα>>.

Το 1985 εκπονήθηκε με μέριμνα του Αγροτοβιομηχανικού Συνεταιρισμού παρακαρλίων χωριών μελέτη κατασκευής μικρών ταμιευτήρων στην περιοχή της τέως λίμνης Κάρλας.

Το Σεπτέμβριο του 1987 εκπονήθηκε αναγνωριστική έκθεση από τον Θ. Μαντζιάρα με μέριμνα του ΥΠΕΧΩΔΕ, στο πλαίσιο της μελέτης ανάπτυξης εγγειοβελτιωτικών έργων Θεσσαλίας, σε συνδυασμό με την εκτροπή του Αχελώου. Επίσης την ίδια χρονιά από το ΥΠΕΧΩΔΕ έγινε η μελέτη εκτροπής του Αχελώου, όπου προτείνεται η χρήση νερών του Αχελώου για άρδευση της περιοχής της Κάρλας. Για την αντιπλημμυρική προστασία προτείνεται ταμιευτήρας 15.000 – 20.000 στρεμμάτων και νέα σήραγγα προς το Αιγαίο. Ακόμα η Νομαρχία Μαγνησίας εκπόνησε μελέτες για την κατασκευή ταμιευτήρα στην Κάρλα και την κατασκευή αντλιοστασίου στον ταμιευτήρα της Κάρλας. (Νεβεσκιώτης Θ. Χαρίσιος, 2010)

Τα έργα της επαναδημιουργίας της λίμνης, ξεκίνησαν το 1999 με την υπογραφή της σύμβασης για τη κατασκευή του Ταμιευτήρα και των συναφών έργων. Το 2001 εντάχθηκε στο επιχειρησιακό πρόγραμμα ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ (ΕΠΠΕΡ) με συνολικό προϋπολογισμό 152 εκατ. ευρώ. Επίσης το έργο εντάχθηκε στο ΕΣΠΑ.

Μέχρι σήμερα έχουν ολοκληρωθεί 3 εργολαβίες, κατασκευής του ταμιευτήρα, κατασκευής των αντλιοστασίων στον ποταμό Πηνειό και καθαρισμού των τάφρων μεταφοράς του νερού:

Ταμιευτήρας Κάρλας και Συναφή έργα: η σύμβαση υπογράφηκε στις 24 Σεπτεμβρίου 1999 και περαιώθηκε στις 30 Ιουνίου 2006 συνολικής δαπάνης 99 εκατ. ευρώ με ΦΠΑ. Με την εργολαβία αυτή ολοκληρώθηκε η κατασκευή του ταμιευτήρα και σημαντικό τμήμα των συλλεκτήρων.

Κατασκευή των απαιτούμενων έργων τροφοδοσίας της λίμνης από τον ποταμό Πηνειό:

Η σύμβαση υπεγράφη την 21η Αυγούστου 2007 και το έργο ολοκληρώθηκε μέσα στο 2010. Η δαπάνη του έργου ανήλθε σε 6,377 εκατ. ευρώ. Το φυσικό αντικείμενο της εργολαβίας περιλαμβάνει το έργο υδροληψίας με αντλιοστάσιο στον Πηνειό για την τροφοδότηση της λίμνης Κάρλας από τις απορροές του Πηνειού κατά την χειμερινή και εαρινή περίοδο και επεμβάσεις κατά μήκος του συστήματος μεταφοράς νερού στις υφιστάμενες διώρυγες – τάφρους 2Δ -6Τ-7Τ-2Τ-Σ4-1Τ. Ολοκληρώθηκε επίσης και η εργολαβία καθαρισμού των τάφρων 7Τ και 2Τ που δημοπρατήθηκε στις 13 Απριλίου 2010: Για την απρόσκοπτη λειτουργία και των 5 αντλιοστασίων θα πρέπει να γίνουν εργασίες διευθέτησης των τάφρων 7Τ και 2Τ σε μικρό σχετικά μήκος –περίπου 500 μ.- με αναχώματα, προκειμένου να αυξηθεί η παροχευευστικότητά τους.

Βρίσκονται σε εξέλιξη 5 εργολαβίες:

Η εργολαβία της ορεινής υδρονομίας, προϋπολογισμού 12,9 εκατ. ευρώ, δημοπρατήθηκε στις 12 Νοεμβρίου 2010 και αναμένεται η έγκριση του Ελεγκτικού Συνεδρίου για την υπογραφή της Σύμβασης. Το έργο περιλαμβάνει τα απαιτούμενα συμπληρωματικά αντιπλημμυρικά έργα (στις περιοχές της Αγιάς, του Καλαμακίου και της Κερασιάς) στο πεδινό και ημιπεδινό τμήμα των λεκανών και των απαιτούμενων έργων ορεινής υδρονομίας, τεχνικά και φυτοκομικά στα λοφώδη ή ορεινά τμήματα των λεκανών για την προστασία των συλλεκτήρων. Είναι η τελευταία εργολαβία για την ολοκλήρωση του έργου της επαναδημιουργίας της λίμνης. Η εργολαβία μεταφοράς και διανομής νερού της λίμνης (δίκτυο άρδευσης) προϋπολογισμού 25 εκατ. ευρώ περίπου που χρηματοδοτείται από αμιγώς εθνικούς πόρους. Το έργο έχει δημοπρατηθεί από το 2008 αλλά δεν διατέθηκαν μέχρι τέλος του 2009 πιστώσεις για να ξεκινήσει. Οι εργασίες βρίσκονται σε εξέλιξη αλλά με αργούς ρυθμούς λόγω περιορισμού των πιστώσεων. Με την κατασκευή του έργου θα μπορούν να αρδεύονται σε πρώτη φάση 100.000 στρέμματα με 60 εκατ. κυβικά μέτρα νερό ετησίως.

Υπογράφηκε στις 30 Δεκεμβρίου 2009 η σύμβαση των έργων ανάδειξης του περιβάλλοντος της λίμνης προϋπολογισμού 4,226 εκατ. ευρώ και οι εργασίες προχωρούν με κανονικό ρυθμό. Το έργο περιλαμβάνει την κατασκευή υποδομών ήπιας τουριστικής ανάδειξης της λίμνης (μουσείο στα κανάλια, Κέντρο πληροφόρησης στο Στεφανοβίκειο, μονοπάτια, θέσεις θέας, παρατηρητήρια κ.λπ.) καθώς και των απαραίτητων φυτοτεχνικών παρεμβάσεων.

Η εργολαβία της ύδρευσης περιοχής Βόλου προϋπολογισμού 9,084 εκατ. ευρώ ξεκίνησε στις 6 Ιουνίου 2008 και περιλαμβάνει τη διάνοιξη και εκμετάλλευση 33 νέων συνολικά υδρογεωτρήσεων με κατάργηση των αντίστοιχων αρδευτικών, καθώς και την αξιοποίηση 5 γεωτρήσεων από το υφιστάμενο δίκτυο της ΔΕΥΑ Μείζονος περιοχής Βόλου, την κατασκευή δικτύου συλλογής των υδρογεωτρήσεων, την κατασκευή δύο αντλιοστασίων, την κατασκευή αγωγού μεταφοράς ο οποίος μεταφέρει το νερό στην υφιστάμενη δεξαμενή της ΔΕΥΑΒ Μείζονος περιοχής Βόλου. Με το έργο αυτό προβλέπεται η τροφοδότηση του πολεοδομικού συγκροτήματος Βόλου με 15.000.000 κυβικά νερού για ύδρευση που καλύπτει το 50% των αναγκών του και είναι ο μεγαλύτερος δείκτης ωφελιμότητας του συνολικού

έργου της επαναδημιουργίας της λίμνης Κάρλας. Μέχρι σήμερα δαπανήθηκαν για το έργο 4.000.000 ευρώ.

Έχουν εκτελεστεί όλες οι εργασίες και απομένει μόνο η διάνοιξη 33 συνολικών υδρογεωτρήσεων. Έχει εγκριθεί παράταση προθεσμίας για τις προαναφερθείσες γεωτρήσεις μέχρι 31 Δεκεμβρίου 2011.

Υπογράφηκε στις 19 Ιουλίου 2010 η σύμβαση της εργολαβίας των υπολειπόμενων εργασιών (εργολαβία σκούπα). Ο προϋπολογισμός της μελέτης του έργου ανέρχεται σε 18.000.000 ευρώ συμπεριλαμβανομένου ΦΠΑ. Το φυσικό αντικείμενο της εργολαβίας περιλαμβάνει την κατασκευή των υπολειπόμενων εργασιών που δεν έχουν υλοποιηθεί από την πρώτη εργολαβία. Οι εργασίες άρχισαν και προχωρούν με ικανοποιητικό βαθμό και η διάρκεια της σύμβασης είναι 2,5 έτη.

Μελλοντικές εργολαβίες:

- Κατασκευή των έργων ενίσχυσης ύδρευσης μείζονος περιοχής Βόλου (Β'ΦΑΣΗ). Ο προϋπολογισμός της εργολαβίας της Β' Φάσης, εκτιμάται σε περίπου 3.500.000 ευρώ συμπεριλαμβανομένου ΦΠΑ. Το φυσικό αντικείμενο της εργολαβίας περιλαμβάνει: Ανόρυξη και εξοπλισμό 17 νέων υδρογεωτρήσεων, κατασκευή δικτύου συλλογής των υδρογεωτρήσεων προς την δεξαμενή ΔΠ, μήκους 12 χλμ.

- Κατασκευή έργων μεταφοράς και διανομής νερού λίμνης Κάρλας. Ο προϋπολογισμός της εργολαβίας της Β' Φάσης, εκτιμάται σε 7.000.000 ευρώ περίπου συμπεριλαμβανομένου ΦΠΑ.

Μελέτες:

- Έχει ανατεθεί η μελέτη μεταφοράς νερών του ταμιευτήρα Γυρτώνης στην Κάρλα, με την οποία εξασφαλίζεται η πλήρωσή της με βαρύτητα.

- Σε συνεργασία με το ΥΠΕΚΑ προχωρεί το θέμα της μελέτης διαχείρισης της Κάρλας, με την ολοκλήρωση της οποίας θα καταστεί δυνατή η ανάληψη της διαχείρισης από το Φορέα Διαχείρισης.
(<http://www.yme.gr/?aid=2762&tid=21>)

5. Μορφολογία της λεκάνης της Κάρλας

Η μορφολογία της λεκάνης της Κάρλας μπορεί να περιγραφεί από τα παρακάτω στοιχεία:

- ❖ Τα εδάφη που θα κατακλύσει είναι υποβαθμισμένα και κατώτερης ποιότητας.
- ❖ Ο ταμιευτήρας καταλαμβάνει σε μέγιστο ποσοστό εκτάσεις του Δημοσίου και έτσι δεν υπάρχει πρόβλημα απαλλοτριώσεων.
- ❖ Ο πυθμένας της λίμνης παρουσιάζει στεγανότητα, ενώ παρουσιάζονται διαρροές σε τμήματα της φυσικής περιμέτρου της λίμνης.
- ❖ Τα μέγιστα υψόμετρα της περιοχής της Κάρλας φθάνουν στο +52m και κατά τόπους μέχρι +56m και +58m.
- ❖ Το χαμηλότερο υψόμετρο της περιοχής της Κάρλας είναι +44m που είναι το ελάχιστο υψόμετρο της Θεσσαλικής πεδιάδας. (Αμπράζη Ι., 2009).

6. Το βιοτικό περιβάλλον της λίμνης

Η αλιεία και το κυνήγι ήταν οι κύριοι πόροι εισοδήματος για τους Έλληνες από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα. Οι κάτοικοι των χωριών γύρω είτε γίνονταν ψαράδες είτε ασχολούνταν με την αλιεία, κυρίως οι κάτοικοι των Καναλιών.

Μετά την αποξήρανση μεγάλο ποσοστό των κατοίκων μετανάστευσε στην Αθήνα, τη Θεσσαλονίκη, αλλά και στο εξωτερικό. Το ποσοστό που μετανάστευσε ήταν περίπου 30% και κυρίως ψαράδες, το 40% στράφηκε στην γεωργία, το 20% έγιναν βιομηχανικοί εργάτες στο Βόλο, ενώ το 10% ασχολήθηκε με την κτηνοτροφία. (Αμπράζη Ι., 2009).

Η πληθώρα των μελετών για την αξιοποίηση της περιοχής της Κάρλας, δεν αντιμετώπισε σε καμία περίπτωση ως σύνολο τις επιπτώσεις των προτεινόμενων έργων στον παρακάρλιο πληθυσμό και αγνόησε τις κοινωνικές συνθήκες και αντιθέσεις της περιοχής. (Σταυροθεωδόρου Ελένη, 2010).

7. Περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις

Η όποια επιλογή κατασκευής έργων πρέπει να γίνεται με μέτρο τον άνθρωπο και την ειρηνική συνύπαρξη του με τη μητέρα φύση. Η λίμνη Κάρλα εξαφανίστηκε από το χάρτη της Θεσσαλίας. Αποξηράνθηκε για να μην υπάρχουν έλη και να μην πλημμυρίζουν οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις αλλά τα προβλήματα δεν έπαψαν για τους κατοίκους των παρακάρλιων κοινοτήτων. Το 1987 ήταν όλοι σε επιφυλακή λόγω της πλημμύρας στην περιοχή. Τα ίδια σχεδόν και το 1985 και άλλες χρονιές. Όλα τα αρδευτικά δίκτυα έχουν παραλλήλως προς το δίκτυο των διωρύγων και δίκτυο χανδάκων για το νερό όπως προβλεπόταν με την κατασκευή του ταμιευτήρα των 64.700 στρεμμάτων. Αυτές οι επιπτώσεις είναι περιβαλλοντικές αλλά και κοινωνικές:

- ✚ Ρύπανση και επιπτώσεις στο κλειστό Παγασητικό κόλπο και εμφάνιση φυτοπλαγκτού.
- ✚ Εμφάνιση ρηγμάτων μεγάλου βάθους ακόμα και μέσα σε χωριά και καταστροφή κτισμάτων.
- ✚ Επιπτώσεις στην πανίδα και στην χλωρίδα της περιοχής.
- ✚ Ραγδαία πτώση της υπόγειας υδροφορίας.
- ✚ Αλλαγές στο μικροκλίμα της περιοχής.
- ✚ Αδυναμία υδροδότησης πόλεων και οικισμών.
- ✚ Κοινωνικές επιπτώσεις, όπως αλλαγή επαγγέλματος, εσωτερική μετανάστευση αλλά και εξωτερική.

Σήμερα η δημιουργία του ταμιευτήρα θα έχει επιδράσεις στο φυσικό, στο βιοτικό, κοινωνικό και στο οικονομικό περιβάλλον:

- ✚ Θα σταματήσει η άντληση υπόγειων στρωμάτων.
- ✚ Θα βελτιωθεί η ποιότητα των νερών.
- ✚ Θα προστατευτεί ο Παγασητικός Κόλπος καθώς θα καλύπτει τις πλημμυρισμένες περιοχές της Κάρλας.

✚ Θα αποκατασταθεί το μικροκλίμα της περιοχής.

Η δημιουργία της νέας λίμνης αποτελεί παράδειγμα αποκατάστασης υγροτόπων όχι μόνο για την χώρα μας αλλά και για την ευρύτερη λεκάνη της Μεσογείου. Πρέπει επομένως να αντιμετωπιστεί ως έργο με υπερεθνική σημασία.

8. Εδαφολογικές Συνθήκες

Τα εδάφη της περιοχής μελέτης προέρχονται από αλλουβιακά, λιμναία και ελώδη αποθέματα ποικίλης μηχανικής σύστασης, δημιουργηθέντα από τα φερτά υλικά του Πηνειού ποταμού και των άλλων μικρότερης σημασίας ποταμών και χειμάρρων της περιοχής. Χαρακτηρίζονται ως νεαρά εδάφη, αλλουβιακής προέλευσης και οι διαδικασίες εδαφογένεσης δεν επέδρασαν έντονα στο να δημιουργηθούν γενετικοί ορίζοντες και ανεπτυγμένα εδαφικά προφίλ.

Η πεδινή περιοχή της Κάρλας και της περιοχής μελέτης διακρίνεται από τους ακόλουθους τύπους εδαφοσειρών, οι οποίοι περιγράφονται επιγραμματικά:

- **Εδαφοσειρά Κάρλας:** εδάφη βαρείας σύστασης, αργιλώδη, βραδείας έως μετρίως βραδείας διηθητικότητας και διαπερατότητας, ισχυρώς αλκαλιωμένα και με έμφαση έντονων οξειδαναγωγικών φαινομένων. Η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία είναι 1,5%.
- **Εδαφοσειρά Καλαμακίου:** εδάφη ελαφριάς σύστασης, κολλουβιακής προέλευσης, ιδιαίτερα φτωχά σε οργανική ουσία (0,5-1%), ταχείας έως μέτριας διηθητικότητας και όξινου pH.
- **Εδαφοσειρά Ριζόμυλου:** εδάφη αλλουβιακά μέτριας έως βαριάς σύστασης, μέτριας διηθητικότητας. Η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία είναι 1-1.5%.
- **Εδαφοσειρά ΝΔ άκρου λεκάνης Κάρλας:** εδάφη βαριάς έως μέσης σύστασης καλά στραγγιζόμενα. Η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία είναι 1-2%.
- **Εδαφοσειρά Καναλιών:** εδάφη κολλουβιακά, μέσης έως βαριάς σύστασης, καλά στραγγιζόμενα και διαπερατά. Η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία είναι μικρότερη του 2%.

Τα πεδινά τμήματα των λεκανών παρουσιάζουν ένα αρκετά γόνιμο και βαθύ έδαφος σε αντίθεση με τα ημιορεινά και ορεινά τμήματα τους όπου οι κλίσεις αρχίζουν να ξεπερνούν το 25% και το βάθος του εδάφους να μειώνεται. Εξαίρεση ίσως να αποτελεί η λεκάνη Λ7β όπου η χλωριδικές διαπλάσεις που εμφανίζονται με πολύ καλά δομημένους θαμνώδες αείφυλλων, πλατύφυλλων και συστάδες μικρής έκτασης χαλεπίου, πεύκης, δρυός αλλά και ελάτης, μαρτυρούν το αρκετά βαθύ έδαφος της περιοχής ανεξάρτητα των πολύ δυσμενών κλίσεων εδάφους. (Μελέτη συμπληρωματικών αντιπλημμυρικών έργων και έργων ορεινής υδρονομίας στη λεκάνη της λίμνης Κάρλας. Οριστική Μελέτη Δασοτεχνικών Έργων. Γεωπληροφορική ΑΕΜΕ.)

9. Μετεωρολογικές Συνθήκες

Το κλίμα της Θεσσαλίας είναι μεσογειακό με θερμό και ξηρό καλοκαίρι και υγρό και ψυχρό χειμώνα. Η μέση ετήσια θερμοκρασία φθάνει περίπου τους 18°C σε υψόμετρο 0m και 11°C σε υψόμετρο 1000m. Η μέση ετήσια περίπου βροχόπτωση ελαττώνεται από δυτικά προς ανατολικά και από τα όροι προς τις πεδιάδες. Στη δυτική πεδιάδα οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 600-900 mm με υγρότερο τμήμα την οριακή ζώνη προς τα δυτικά. Στην ανατολική πεδιάδα η οποία είναι κατά πολύ ξηρότερη αν και γειτνιάζει με το Αιγαίο, οι τιμές της βροχόπτωσης κυμαίνονται μεταξύ 500-550 mm. Το υψόμετρο επηρεάζει σημαντικά το ύψος της βροχής. Στα δυτικά όροι η ετήσια βροχόπτωση φτάνει τα 1800mm. Ειδικότερο για το καθορισμό των κλιματολογικών στοιχείων της πεδιάδας Λαρίσης- Κάρλας έχουν κυρίως ληφθεί υπόψη οι διατιθέμενες παρατηρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού Λαρίσης γιατί από τους δύο, από τους δύο σταθμούς που λειτουργούν στη περιοχή μελέτης ο σταθμός Λαρίσης διαθέτει τις πιο μακροχρόνιες μετρήσεις. Βάση των βροχοπτώσεων και της θερμοκρασίας, το κλίμα της περιοχής μελέτης κατατάσσεται στο ηπειρωτικό ημίξηρο, χαρακτηριζόμενο, από θερμό και ξηρό καλοκαίρι και ψυχρό και υγρό χειμώνα. Η ξηρά περίοδος διαρκεί από τον Μάιο μέχρι τον Σεπτέμβριο και η υγρή από τον Οκτώβριο μέχρι και Απρίλιο. (Μελέτη συμπληρωματικών αντιπλημμυρικών έργων και έργων ορεινής υδρονομίας στη λεκάνη της λίμνης Κάρλας. Οριστική Μελέτη Δασοτεχνικών Έργων. Γεωπληροφορική ΑΕΜΕ).

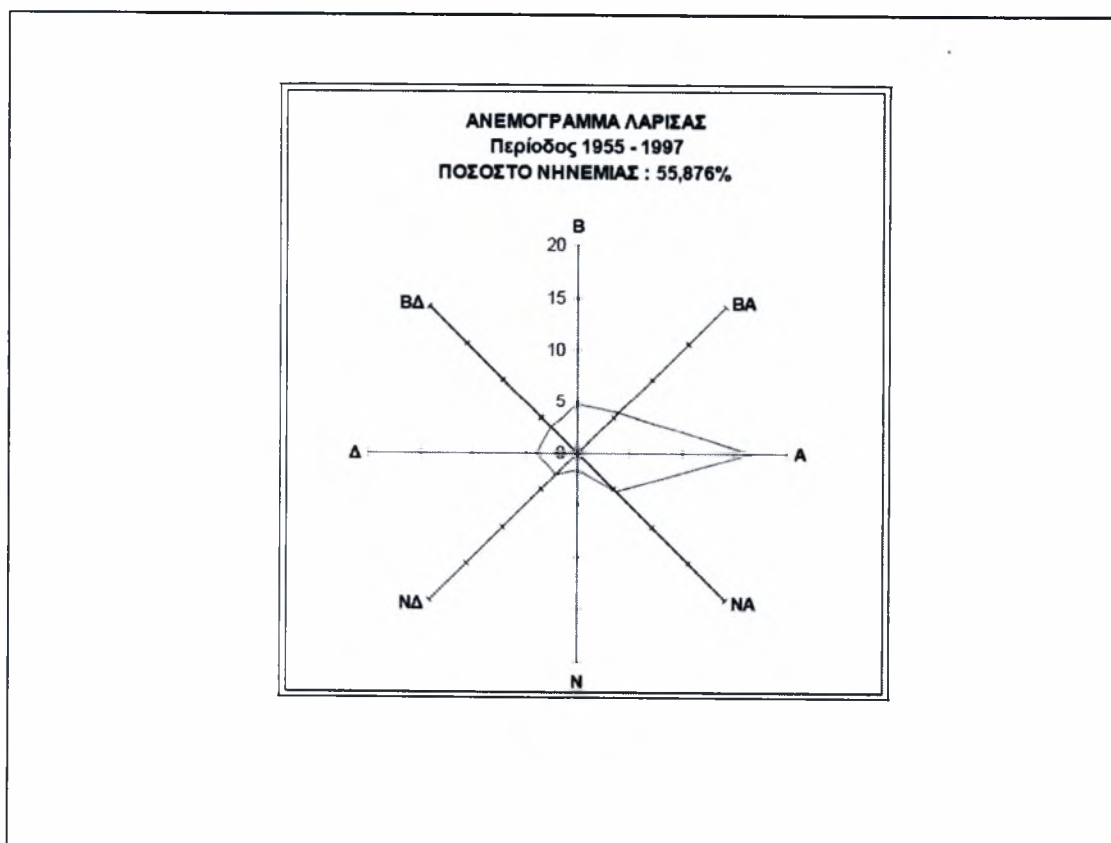
10. Άνεμοι

Από τα στοιχεία της ΕΜΥ (Μ.Σ. Λάρισας) προκύπτει ότι οι επικρατέστεροι άνεμοι είναι η ανατολική με ποσοστό εμφάνισης 16.708% και ακολουθούν οι βορειοανατολικοί και οι νοτιοανατολικοί, οι βόρειοι, οι δυτικοί και οι βορειοδυτικοί. Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι οι άνεμοι είναι χαμηλής εντάσεως κυρίως 2-4 Beaufort ενώ το ποσοστό νηνεμίας είναι πολύ μεγάλο και ξεπερνά το 55%.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται το ανεμόγραμμα για την περιοχή μελέτης όπως προκύπτει από τα στοιχεία του Μ.Σ. Λάρισας για την περίοδο 1955-1997. (Μελέτη συμπληρωματικών αντιπλημμυρικών έργων και έργων ορεινής υδρονομίας στη λεκάνη της λίμνης Κάρλας. Οριστική Μελέτη Δασοτεχνικών Έργων. Γεωπληροφορική ΑΕΜΕ).

BEAUF	B	BA	A	NA	N	NA	Δ	BA	Νηνεμία	Σύνολο
0									55.876	55.876
1	0.394	0.298	1.194	0.646	0.298	0.471	0.482	0.449		4.228
2	1.928	2.071	6.925	2.706	0.931	1.370	1.742	1.709		19.382
3	1.216	1.633	5.763	1.304	0.241	0.723	1.086	0.855		12.620
4	0.789	1.041	2.268	0.394	0.088	0.318	0.460	0.362		5.720
5	0.307	0.329	0.383	0.044	0.022	0.055	0.099	0.088		1.327
6	0.099	0.131	0.131	0.011	0.011	0.022	0.022	0.022		0.449
7	0.022	0.033	0.033	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011		0.147
8	0.011	0.011	0.011	0.000	0.000	0.011	0.000	0.011		0.056
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000
11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000
SUM	4.766	5.545	16.708	6.118	1.600	2.981	3.901	3.507	55.876	100.000

Πίνακας: 10.1 : Ανεμολογικά στοιχεία Μ.Σ. Λάρισας για την περίοδο 1955-1997.



Πίνακας: 10.2: Ανεμόγραμμα της περιοχής μελέτης με δεδομένα τα στοιχεία του Μ.Σ. Λάρισας για την περίοδο 1955-1997.

11. Θερμοκρασία

Γενικά: Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας εντοπίζονται στο επιφανειακό στρώμα, ενώ σε βάθη μεγαλύτερα από 200m εμφανίζεται θερμοκρασιακή ομοιομορφία, χαρακτηριστική για κάθε υδατική λεκάνη. Η θερμοκρασία επηρεάζει τη διαλυτότητα του οξυγόνου και άλλων συστατικών, το μεταβολισμό των υδρόβιων οργανισμών, τη διαδικασία διάσπασης των οργανικών ουσιών που υπάρχουν και είναι υπεύθυνοι για την θερμική στρωμάτωση και την αναστροφή των νερών. Άλλα φυσικά χαρακτηριστικά είναι η πυκνότητα, το χρώμα, η διαύγεια, η απορρόφηση ηλιακού φωτός.

Συγκεκριμένα: Η μέση ετήσια θερμοκρασία στην περιοχή της Λάρισας είναι 15,7°C. Ο θερμότερος μήνας είναι ο Ιούλιος με μέση θερμοκρασία 27,2 °C ενώ ο ψυχρότερος είναι ο Ιανουάριος με μέση θερμοκρασία 5,2°C. Η διαφορά αυτή των 22°C στη θερμοκρασία προσδίδει στο κλίμα ηπειρωτικό χαρακτήρα. Η μέση μέγιστη ετησίως θερμοκρασία που έχει παρατηρηθεί τη περίοδο 1955-1997 είναι 21,3°C και η μέση ελάχιστη ετησίως είναι 8,6°C. (Μελέτη συμπληρωματικών αντιπλημμυρικών έργων και έργων ορεινής υδρονομίας στη λεκάνη της λίμνης Κάρλας. Οριστική Μελέτη Δασοτεχνικών Έργων. Γεωπληροφορική ΑΕΜΕ).

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΕΤΟΣ
Μέση Θερμοκρασία αέρος	5.2	8.9	9.4	13.9	19.6	24.9	27.2	26.2	21.8	18.2	10.9	6.5	15.7
Μέση Μέγιστη	9.7	12.1	14.7	19.7	25.6	30.9	33.1	32.5	28.4	22.1	16.0	11.1	21.3
Μέση Ελάχιστη	0.6	1.4	3.4	6.2	10.7	15.0	17.7	17.2	14.0	9.9	5.8	1.9	8.6
Απολύτως Μέγιστη	21.8	25.2	27.5	32.4	40.0	42.2	45.2	45.0	39.2	36.8	29.0	22.6	33.9
Απολύτως Ελάχιστη	-21.6	-10.5	-7.0	-3.4	1.4	7.0	11.0	10.0	5.0	-2.0	-6.4	-17.5	-2.8

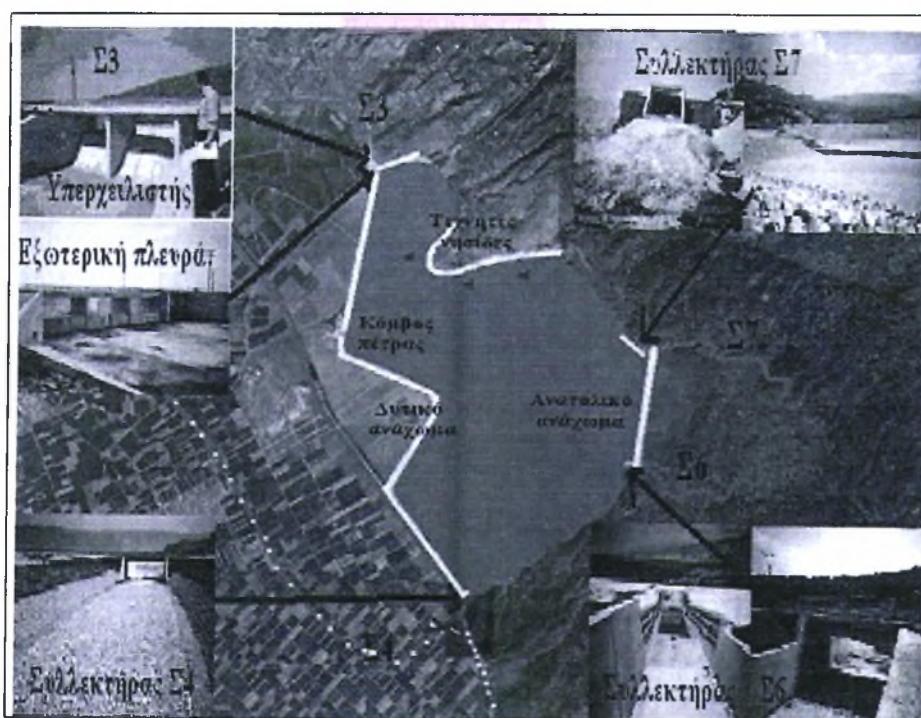
Πίνακας: 11.1: Στοιχεία θερμοκρασίας από Μ.Σ. Λάρισας για την περίοδο 1955-1997.

12. Έργα διαμόρφωσης της λίμνης

Στο πλαίσιο των έργων αντιπλημμυρικής προστασίας και αποχέτευσης της Θεσσαλίας κατασκευάστηκαν και ορισμένα έργα που είναι σημαντικά για την περιοχή της πεδιάδας της Κάρλας όπως τα αναχώματα Πηνειού από Λάρισα μέχρι Γυρτώνη, Συλλεκτήρες, οι Τάφροι 1Τ και 2Τ και η σήραγγα της Κάρλας.

Ανατολικά και Δυτικά της λίμνης είναι κατασκευασμένα δύο αναχώματα μέσου ύψους 9m, μήκους 2.700m περίπου και 11.300m περίπου αντίστοιχα. Το βάθος του νερού στη λίμνη θα κυμαίνεται εποχιακά μεταξύ 2.50m και 5m με περιθώριο για περιπτώσεις πλημμύρων 1.2m.

Τα όμβρια νερά των υψηλών περιοχών της λεκάνης απορροής της λίμνης Κάρλας θα συλλέγονται στους συλλεκτήρες Σ3(32.320m), Σ4(13.740m), Σ6(4.550m) και Σ7(2.600m) μέσω των οποίων θα οδηγούνται στη λίμνη. Οι συλλεκτήρες αυτοί κατασκευάζονται με την εκσκαφή τραπεζοειδούς κοίτης ή/και την κατασκευή αναχωμάτων εγκλιωτισμού με πλάτος πυθμένα μεταβλητό από ανάντη προς τα κατόντη και ύψος αναχωμάτων μέχρι 5m.

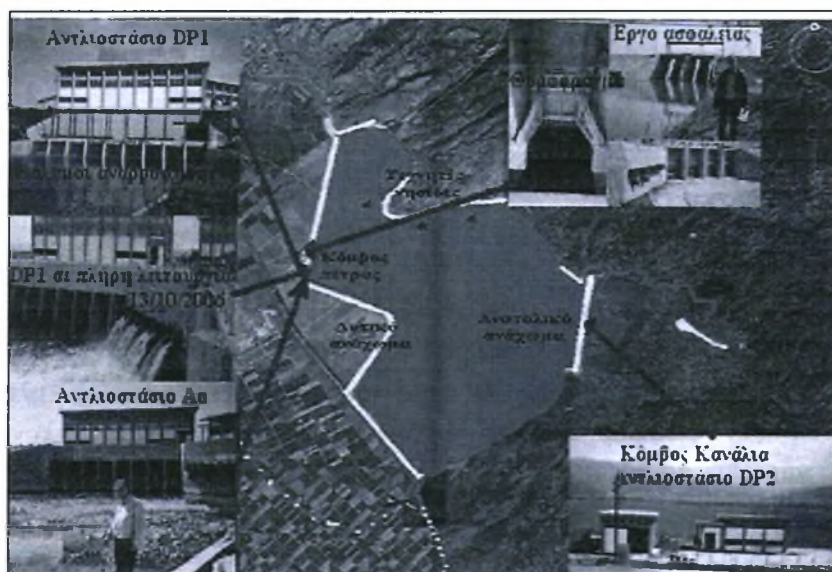


Σχήμα: 12.1: Συλλεκτήρες Σ3, Σ4, Σ6, Σ7. (Πηγή : Ν. Παπανίκος κ.ά., 2009)



Σχήμα:12.2: Υφιστάμενα έργα: αναχώματα, Συλλεκτήρες, Τάφροι 1Τ & 2Τ. (Πηγή: Ν. Παπανίκος, κ.ά., 2009)

Τα όμβρια νερά των χαμηλών περιοχών αντλούνται στη λίμνη με τα αντλιοστάσια αποχέτευσης **DP1** $Q=24\text{m}^3/\text{sec}$ στον κόμβο Πέτρας στο δυτικό ανάχωμα και το **DP2** με παροχή $Q=3,6\text{m}^3/\text{sec}$ στον κόμβο Καναλίων. (Σταυροθεωδору Ελένη, 2010).



Σχήμα:12.3: Αντλιοστάσιο DP1 (Εξωτερική πλευρά – θάλαμοι αναρρόφησης, εσωτερική πλευρά σε πλήρη λειτουργία, αντλίες. Πηγή: Ν. Παπανίκος κ.ά., 2009)

13. Ποιότητα νερού

Η ποιότητα νερού έχει καθοριστική επίδραση στη λειτουργία του λιμναίου οικοσυστήματος και κάθε επιβάρυνσή του με ύλη, ενέργεια ή μικροοργανισμούς οδηγεί στην υποβάθμισή του. Η αξιολόγηση της ποιότητας του μπορεί να γίνει με την μελέτη και τη μετρησή ορισμένων βασικών φυτικών και χημικών παραμέτρων.

Το αρδευτικό νερό θα προέρχεται κυρίως από τον Πηνειό και από τις απορροές των ορεινών περιοχών. Μέρος του αρδευτικού νερού θα συνεχίσει να αντλείται από τα υπόγεια νερά. Η μείωση των αντλήσεων σε συνδυασμό με τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφόρων, θα βελτιώσει την ποιότητα του νερού και θα αποκλείσει την είσοδο του θαλασσινού νερού. Η βελτίωση της ποιότητας του νερού σε συνδυασμό με μέτρα χειμερινών αρδεύσεων θα βελτιώσουν την ποιότητα των εδαφών υπό την προϋπόθεση ότι τα στραγγιζόμενα νερά, θα απομακρύνονται στη θάλασσα και δεν θα επανέρχονται στον ταμιευτήρα.

Στη νέα κατάσταση η ποιότητα των στραγγιστικών νερών δεν θα μεταβληθεί και επομένως δεν θα δημιουργούνται προβλήματα εκτός από την περίπτωση των αλάτων. Γι' αυτό απαιτείται σχέδιο διαχείρισης, ώστε να αποφευχθεί η ανακύκλωση αλάτων στον ταμιευτήρα. (Ι. Αμπράζη, 2009).

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία πραγματοποιούνται υπολογισμοί της ποιότητας του νερού όσον αφορά τη διάχυση της θερμοκρασίας, των εισερχόμενων νιτρικών, φωσφορικών (προερχόμενα π.χ. από γεωργικά φάρμακα και λιπάσματα) αλλά και την ανάπτυξη της άλγης.

Η ποιότητα του νερού εξαρτάται επίσης από την ταχύτητα ανάπτυξης του φυτοπλαγκτόν, την ακτινοβολία I που δέχονται τα άλγη και από την συγκέντρωση του αζώτου στο νερό. Τα αποτελέσματα δείχνουν τις δυνατότητες των αριθμητικών μοντέλων στον προσδιορισμό και την πρόβλεψη σημαντικών μεγεθών που μπορούν έμμεσα να χρησιμοποιηθούν για τον σχεδιασμό σύγχρονων υδραυλικών έργων. Οι υπολογισμοί της ροής του ύδατος μπορούν να αποτελέσουν την βάση, για παράδειγμα, για τον προσδιορισμό των περιοχών με υψηλότερες και χαμηλότερες συγκεντρώσεις νιτρικών, φωσφορικών και άλλων ενώσεων, και άρα να επιλεγούν οι καλύτερες θέσεις για την απάντληση.

13.1. Φως

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας αφού αποτελεί την κύρια πηγή θερμότητας και συνδέεται με τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα των αυτότροφων οργανισμών για την παραγωγή οργανικής ύλης.

Η ένταση του φωτός που δέχεται στιγμιαία κάθε φυτοπλαγκτονικός οργανισμός εξαρτάται από την θέση του μέσα στην υδάτινη στήλη και κατανομή του φωτός στο νερό. Όσο πιο βαθιά μπορεί να διεισδύσει το φως στο νερό, τόσο πιο βαθιά μπορούν να αναπτυχθούν φωτοσυνθετικές δραστηριότητες.

Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της λίμνης εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και μήκος της περιοχής, την εποχή και ώρα της ημέρας αλλά και τις ατμοσφαιρικές και μετεωρολογικές συνθήκες. Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που εισχωρεί στη λίμνη ελαττώνεται με την αύξηση του βάθους της.

Καθώς διαδίδεται η ηλιακή ακτινοβολία στο νερό, η έντασή της μειώνεται κι εξαιτίας της μετατροπής της σε θερμότητα. (Νεβεσκιώτης Θ. Χαρίσιος, 2010).

13.2. Χρώμα

Το χρώμα μίας λίμνης καθορίζεται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εισχωρεί στο νερό, από το είδος σωματιδίων που αιωρούνται, από τις διαλυμένες ανόργανες ή οργανικές ουσίες, από το είδος των πλαγκτονικών οργανισμών, από το χρώμα του ιζήματος, ακόμη και από το γεωλογικό υπόστρωμα της περιοχής. Όλοι αυτοί οι παράγοντες διαχέουν και απορροφούν το φως και προσδίδουν στο νερό συγκεκριμένο χρώμα που μπορεί να είναι από πράσινο-γαλάζιο έως σκούρο καφετί. Η απορρόφηση του φωτός υπολογίζεται με τον συντελεστή απορρόφησης (ϵ), ο οποίος είναι διαφορετικός για κάθε λίμνη αλλά και για κάθε μήκος κύματος του φωτός. Έτσι οι διαφανείς λίμνες έχουν μικρό συντελεστή απορρόφησης, ενώ οι εύτροφες και θολές μεγάλο. (Νεβεσκιώτης Θ. Χαρίσιος, 2010).

13.3. Διαλυμένο οξυγόνο

Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό σχετίζεται με την ανάπτυξη των περισσότερων μορφών ζωής. Ο εμπλουτισμός της λίμνης σε οξυγόνο γίνεται μέσω διάχυσης του ατμοσφαιρικού οξυγόνου στο νερό της λίμνης και μέσω φωτοσυνθετικής παραγωγής.

Όταν εξαιτίας φυσικών ή ανθρωπίνων δραστηριοτήτων εισέλθει στη λίμνη άφθονο θρεπτικό υλικό προκαλείται μείωση ή ακόμα και έλλειψη οξυγόνου.

Σε σταθερή θερμοκρασία, η πίεση που ασκεί το ατμοσφαιρικό οξυγόνο στην επιφάνεια του νερού της λίμνης είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του οξυγόνου στο νερό. Συνεπώς, αύξηση της ατμοσφαιρικής πίεσης αυξάνει τη διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό και αντίστροφα.

Οι υδρόβιοι οργανισμοί χρειάζονται διαφορετικά ποσά διαλυμένου οξυγόνου. Όταν τα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου βρίσκονται κάτω από 3ppm προκαλούν στρες στους περισσότερους υδρόβιους οργανισμούς, ενώ επίπεδα κάτω από 2 ή 1 ppm δεν ευνοούν τη ζωή των ψαριών. Επίπεδα 5 ή 6 ppm είναι συνήθως τα χαμηλότερα όρια για την ανάπτυξη και τις δραστηριότητες των υδρόβιων οργανισμών.(Νεβεσκιώτης Θ. Χαρίσιος, 2010).

13.4. Θρεπτικά συστατικά

Βασικά θρεπτικά συστατικά των φυτικών οργανισμών μίας λίμνης είναι τα νιτρικά, τα νιτρώδη, τα αμμωνιακά ιόντα και τα φωσφορικά ιόντα που παίζουν καθοριστικό ρόλο στην διαμόρφωση της τροφικής κατάστασης της λίμνης, οι τιμές τους δηλαδή είναι ενδεικτικές για τις συνθήκες που επικρατούν σε αυτή. (Νεβεσκιώτης Θ. Χαρίσιος, 2010).

13.5. Τοξικές ουσίες

Φυσικές ή συνθετικές ουσίες (βιομηχανικά απόβλητα κ.α.) είναι δυνατό να έχουν τοξική επίδραση στους οργανισμούς που τις προσλαμβάνουν. Η μεταβίβαση τοξικών ουσιών από ένα τροφικό επίπεδο σε κάποιο ανώτερο προκαλεί το φαινόμενο της βιοσυσσωρευσης. Μη βιοδιασπώμενες ουσίες εισέρχονται στον οργανισμό των ζώων και των φυτών με την αναπνοή και τη διατροφή και κατακρατούνται στους ιστούς.

Η βιοσυσσωρευση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως είναι το είδος και η συγκέντρωση του ρύπου, ο χρόνος έκθεσης καθώς και το είδος, η ηλικία, ο ιστός ή το όργανο και γενικά ο βιολογικός κύκλος του οργανισμού.

Οι βιοσυσσωρευμένοι ρύποι δεν εξαφανίζονται με τον θάνατο του οργανισμού, αλλά μεταφέρονται διαμέσου των τροφικών αλυσίδων σε επόμενα τροφικά επίπεδα. Με τον τρόπο αυτό ένας ρύπος μπορεί να μεταφερθεί σταδιακά σε περιοχές πολύ μακρινές από το σημείο απόρριψής του.(Νεβεσκιώτης Θ. Χαρίσιος, 2010).

14. Ρύπανση του Παγασητικού κόλπου

Η αποξήρανση της Κάρλας είχε πολλές επιπτώσεις στον Παγασητικό Κόλπο. Όπως φαίνεται από την μεταβολή της θάλασσας στο σημείο εκβολής του αγωγού της Κάρλας, παρατηρούνται αποθέσεις φερτών που κουβαλάει ο αγωγός, που συνδυάζονται με μεγάλα ρυπαντικά φορτία.

Στη λεκάνη απορροής της Κάρλας, στις καλλιέργειες κυριαρχούν οι λεγόμενες δυναμικές που απαιτούν διαρκώς αυξημένες ποσότητες λιπασμάτων και φαρμάκων, γεγονός που επιτείνει το ήδη υπάρχον πρόβλημα της ρύπανσης επιφανειακών και υπόγειων νερών. Ειδικότερα, τα γεωργικά φάρμακα που χρησιμοποιούνται στις καλλιέργειες διασπώνται σε απλούστερες ενώσεις σε χρόνο μεγαλύτερο των 13 ημερών. Πιο γρήγορα αποικοδομούνται τα ισχυρά φάρμακα που είναι και πιο δραστικά και τοξικά, όμως ποτέ γρηγορότερα από 12 ημέρες. Ένας μέσος χρόνος μεταφοράς απορροών από τη μέση της λεκάνης απορροής έως και την έξοδο είναι 4 ημέρες. Έτσι βλέπουμε ότι και το φάρμακο διασπάται γρηγορότερα, εξέρχεται από τη λεκάνη στο Παγασητικό χωρίς να προλάβει να αποικοδομηθεί πλήρως. Περισσότερο έντονο είναι το φαινόμενο την άνοιξη, όταν οι βροχοπτώσεις είναι μικρής διάρκειας και δεν γίνεται αραίωση ενώ γίνονται περισσότερη ψεκασμοί.

Η εντατική χρήση λιπασμάτων και γεωργικών φαρμάκων με την παράλληλη ανάπτυξη της βιομηχανικής δραστηριότητας στην ευρύτερη περιοχή, ήταν φυσικό να αυξήσουν την ποσότητα των ρύπων από σημειακές και μη σημειακές πηγές. Μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν την περίοδο 1983-87 για το συνολικό ρυπαντικό φορτίο που καταλήγει μέσω του αποχετευτικού δικτύου και της σήραγγας της Κάρλας στον Παγασητικό Κόλπο, είναι ιδιαίτερα ανησυχητικές. Έτσι οι εκροές της Κάρλας στον Παγασητικό μεταφέρουν μεγάλα ρυπαντικά φορτία που επιβαρύνουν τον κλειστό αυτό κόλπο. Οι επιπτώσεις αυτές δεν έχουν αντιμετωπιστεί από την μελέτη αποξήρανσης για να κατασκευαστεί πιθανόν αγωγός σε εναλλακτική θέση.

Αξίζει να αναφερθούμε και στην εμφάνιση του πλαγκτόν στη θάλασσα του Παγασητικού. Αν και το φαινόμενο εμφάνισης πλαγκτόν δεν είναι ασυνήθιστο για κλειστές θάλασσες, όπως αυτή του Παγασητικού, πρόσφατα, το 1997, πήρε μεγαλύτερες διαστάσεις λόγω των παρατεταμένων βροχοπτώσεων και της απότομης ανόδου της θερμοκρασίας. Την εμφάνιση του φαινομένου ευνόησαν η γύρη, τα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα που μεταφέρθηκαν από τα νερά της λεκάνης της Κάρλας, μέσω της σήραγγας στον Παγασητικό. (Δημαρέλου Τ. κ.ά. , 2004).

15. Εκτίμηση εισροής ρύπων

Οι ποσότητες των λιπασμάτων που αναμένεται να εφαρμοσθούν, για το σύνολο της λίμνης, θα πρέπει να είναι σύμφωνες με το σενάριο της υψηλής λιπάνσεως για το βαμβάκι, ενώ είναι σύμφωνες με το χαμηλής λιπάνσεως για τα σιτηρά. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα μία σημαντική αύξηση των αζωτούχων λιπάνσεων αλλά και των φωσφορικών ανά μονάδα επιφάνειας, εξαιτίας της μεταβολής από καλλιέργεια σιτηρών σε καλλιέργεια βαμβακιού. Η μεταβολή συνολικά, είναι γενικά μικρή και μάλιστα στην νέα κατάσταση θα υπάρχει μείωση της κατανάλωσης, διότι οι ποσότητες αζώτου και φωσφόρου που εφαρμόζονται στο σιτάρι και στο βαμβάκι, διαφέρουν σχετικά λίγο. Υπάρχει επίσης και μία αύξηση της καλιούχου λιπάνσεως, η οποία όμως δεν φαίνεται να έχει επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Μια σημαντική μεταβολή στις εισροές των ρύπων είναι στα φυτοφάρμακα. Η κατανάλωση φαρμάκων στην βαμβακοκαλλιέργεια είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι είναι στα σιτηρά. Ενώ μέχρι σήμερα στα σιτηρά συνήθως εφαρμόζεται μόνο ζιζανιοκτονία και συνήθως εκεί που καλλιεργείται συνεχώς, ενώ μετά από ποτιστική καλλιέργεια το πρόβλημα είναι μικρό και αποφεύγεται η ζιζανιοκτονία.

Αντίθετα στο βαμβάκι, εκτός από τη ζιζανιοκτονία εφαρμόζονται σημαντικές ποσότητες εντομοκτόνων, είτε σε μορφή κοκκώδη κατά την σπορά, είτε κατά το θέρος για καταπολέμηση διαφόρων εχθρών.

Ανεξαρτήτως όμως των εσωτερικών διαφορών, φεύγοντας από τα σιτηρά και πηγαίνοντας προς το βαμβάκι υπάρχει προσθήκη σημαντικών ποσοτήτων εντομοκτόνων στο σύστημα. Θα πρέπει να τονίσουμε ότι λόγω της μείωσης της τιμής του σκληρού σιταριού σε πολλές περιπτώσεις έχει σταματήσει η ζιζανιοκτονία στα σιτηρά και αυτό επιτείνει ακόμα περισσότερο την αύξηση των ρύπων εξαιτίας της μεταβολής της καλλιέργειας από σιτηρά σε βαμβάκι. (Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων και επανορθωτικών μέτρων από την κατασκευή και λειτουργία του ταμιευτήρα Κάρλας και των συναφών έργων , Β' φάση, Περιβαλλοντικοί όροι, 1995).

15.1. Υπολογισμός των απωλειών του αζώτου από τα λιπάσματα

Το άζωτο που είναι ελεύθερο στο έδαφος θα καταλήξει σε κάποιον αποδέκτη κυρίως ακολουθώντας τρεις δρόμους. Αυτόν της Έκπλυσης, της Επιφανειακής απορροής και της διάβρωσης.

Η ποσότητα του αζώτου που είναι διαθέσιμη προς έκπλυση για ένα χρονικό διάστημα μπορεί να φανεί εάν υπάρχουν που να μας δίνουν την ποσότητα του αζώτου που προστέθηκε στο έδαφος, καθώς και αυτή που ακινητοποιήθηκε στα φυτά, τους μικροοργανισμούς και το έδαφος και απολαμβάνει μια προσωρινή προστασία έναντι της έκπλυσης. Ο κίνδυνος για αυτή την διαθέσιμη ποσότητα να μετακινηθεί από το

έδαφος με τους τρεις προαναφερθέντες τρόπους και να καταλήξει σε ένα υδροφορέα εξαρτάται από το τύπο του εδάφους, την κλίση της εδαφικής επιφάνειας, το κλίμα κ.τ.λ.

Τα φυτά προσλαμβάνουν τις νιτρικές και αμμωνιακές μορφές αλλά η ποσότητα που προσλαμβάνεται υπό νιτρική μορφή είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή της αμμωνιακής. Οι αμμωνιακές μορφές μέχρι να νιτροποιηθούν μπορούν να παραμείνουν στο έδαφος ως ανταλλάξιμο αμμώνιο και προστατεύονται από την έκπλυση. Αυτή η προστασία για τα εδάφη της περιοχής, είναι αυξημένη λόγω της υψηλής τους ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων.

Το ποσοστό του προστιθέμενου με τα λιπάσματα αζώτου που προσλαμβάνεται από τις καλλιέργειες, εκτιμάται για ένα μεγάλο εύρος καλλιεργειών ότι είναι περίπου 50%.

Αυτό το εκτιμώμενο ποσοστό μας δείχνει ότι γίνεται μία σπατάλη αζώτου και δημιουργήθηκε στο έδαφος περίσσεια αζώτου που είναι διαθέσιμη για έκπλυση, αυξάνοντας έτσι τους κινδύνους ρύπανσης των υδροφορέων με άζωτο.

Από μετρήσεις που έγιναν στην Κεντρική Ευρώπη εκτιμήθηκε ότι για κείνες τις κλιματικές συνθήκες, 300 mm διηθούμενο νερό, το ποσοστό του αζώτου που εκπλύνεται είναι 10-36% της προστιθέμενης ποσότητας. Για αυτές τις απώλειες σπουδαίο ρόλο παίζει το πόσο βαρύ ή ελαφρό είναι το έδαφος, ο όγκος του εφαρμοζόμενου νερού, οι φυσικές ιδιότητες του εδάφους και το κλίμα.

Η ρύπανση όμως των υπόγειων νερών σε πολλές περιπτώσεις δεν εξαρτάται μόνο από την έκπλυση του κατ' έτος προστιθέμενου αζώτου αλλά και από το ποσό του αζώτου της οργανικής ουσίας του εδάφους που ανοργανοποιείται ελευθερώνοντας νιτρικά ιόντα. Για τα ελληνικά εδάφη συνήθως, αλλά και για την περιοχή της μελέτης, το ποσοστό της οργανικής ουσίας είναι 1-2%. Αυτή μπορεί να θεωρηθεί μια αποθήκη αζώτου της τάξεως των 100-1.000 kg αζώτου το στρέμμα.

Για να υπάρχει μια ακριβής εκτίμηση των απωλειών του αζώτου σε κάθε γεωργικό σύστημα, απαιτούνται μετρήσεις για την ανάκτηση του προστιθέμενου αζώτου από τις συγκεκριμένες καλλιέργειες της περιοχής, την εκτίμηση των απωλειών του αζώτου σε σχέση με τον τύπο των εδαφών και της ποσότητας του νερού που διηθείται.

15.2. Κατηγορίες ρύπων

Σύμφωνα με την ανάλυση των εισροών στο σύστημα σημαντικές ποσότητες λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων χρησιμοποιούνται για την γεωργική παραγωγή. Η τύχη τους στην φύση αποτελεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό πρόβλημα, που δύσκολα προσεγγίζεται, καθώς τα στοιχεία είναι περιορισμένα αλλά και εκεί που υπάρχουν δεν είναι εφαρμόσιμα, λόγω διαφορετικών συνθηκών.

Για να εκτιμηθεί η πορεία και η τύχη των ρύπων της περιοχής θα πρέπει να υπάρξει διαχωρισμός σε δύο κατηγορίες:

1. Αυτοί που προσροφώνται από τα στοιχεία του εδάφους και δεν μετακινούνται σημαντικά με τα νερά που στραγγίζουν ή που διηθούνται σε βαθύτερα στρώματα.
2. Αυτά που δεν προσροφώνται από τα στοιχεία του εδάφους όπως τα νιτρικά λιπάσματα αλλά και μια σειρά φυτοφαρμάκων. Μια άλλη κατηγορία είναι αυτά που προσροφώνται κατ' αρχή αλλά μεταβολίζονται σε προϊόντα που δεν προσροφώνται όπως για παράδειγμα τα αμμωνιακά ιόντα που ως θετικά προσροφώνται από τα αρνητικά φορτισμένα εδαφικά σωματίδια αλλά με την δράση μικροοργανισμών μετατρέπονται σε νιτρικά που είναι αρνητικά φορτισμένα και δεν προσροφώνται.

Είναι προφανές ότι οι δύο κατηγορίες υλικών ακολουθούν μια διαφορετική πορεία στο έδαφος.(Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων και επανορθωτικών μέτρων από την κατασκευή και λειτουργία του ταμιευτήρα Κάρλας και των συναφών έργων, Β' φάση, Περιβαλλοντικοί όροι, 1995).

15.3. Συμπεράσματα

Από την προηγηθείσα ανάλυση, μπορούν να βγουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- i. Με την δημιουργία του ταμιευτήρα θα μειωθούν οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις κατά την έκταση του ταμιευτήρα, ενώ θα αυξηθούν σημαντικά οι αρδευόμενες εκτάσεις.
- ii. Το αρδευτικό νερό θα προέρχεται κυρίως από τον Πηνειό και από τις απορροές των ορεινών περιοχών. Μέρος του αρδευτικού νερού θα συνεχίσει να αντλείται από τα υπόγεια νερά. Η μείωση των αντλήσεων σε συνδυασμό με τον εμπλουτισμό των υπογείων υδροφορέων, θα βελτιώσει την ποιότητα του νερού και θα αποκλείσει την είσοδο θαλασσινού νερού.

Επιπλέον η στάθμη άντλησης θα αυξηθεί σημαντικά και επομένως θα μειωθεί η ενέργεια άντλησης.

- iii. Η βελτίωση της ποιότητας νερού σε συνδυασμό με μέτρα χειμερινών αρδεύσεων, θα βελτιώσουν την ποιότητα των εδαφών υπό την προϋπόθεση ότι τα στραγγιζόμενα νερά, θα απομακρύνονται στην θάλασσα και δεν θα επανέρχονται στον ταμιευτήρα.
- iv. Στην νέα κατάσταση οι εισροές εμφανίζονται συνολικά αμετάβλητες για τα λιπάσματα, ενώ υπάρχει αύξηση στα φυτοφάρμακα.
- v. Στην νέα κατάσταση η ποιότητα των στραγγιστικών νερών δεν θα μεταβληθεί και επομένως, δεν δημιουργεί προβλήματα εκτός από την περίπτωση αλάτων. Αυτό θα πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα ώστε να αποφευχθεί η ανακύκλωση αλάτων στον ταμιευτήρα.
- vi. Τυχόν ρύποι από αστικά ή βιομηχανικά απόβλητα στα ανάντι της περιοχής πρέπει να καθαρίζονται στην πηγή.(Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων και επανορθωτικών μέτρων από την κατασκευή και λειτουργία του ταμιευτήρα Κάρλας και των συναφών έργων, Β΄ φάση, Περιβαλλοντικοί όροι, 1995).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ II

16. Εισαγωγή στις λίμνες

Οι λίμνες είναι υδατοσυλλογές, οι οποίες έχουν μέγεθος από λίγα μέχρι και χιλιάδες τετραγωνικά χιλιόμετρα. Το βάθος των λιμνών, επίσης, μπορεί να κυμαίνεται από μερικά εκατοστά μέχρι 1740 μ. που είναι το μέγιστο βάθος της λίμνης Βαϊκάλης στη Ρωσία, της πιο βαθιάς λίμνης του κόσμου. Οι λίμνες συνήθως έχουν γλυκό νερό, αλλά σε πολύ ξηρά κλίματα, λόγω της αυξημένης **εξάτμισης** του νερού, η περιεκτικότητά τους σε άλατα μπορεί να υπερβεί εκείνη της θάλασσας, οπότε έχουμε τις λεγόμενες αλμυρές λίμνες. Εκτός από την Κασπία, η οποία είναι ιδιαίτερα αλμυρή στο νότιο τμήμα της, τα πιο αλμυρά νερά στον κόσμο απαντώνται στη Νεκρά Θάλασσα (Μέση Ανατολή) και στη Λίμνη Άσαλ (Αφρική).

Οι μεγάλες λίμνες είναι μόνιμα κατακλυσμένες με νερό, ενώ οι μικρές εποχιακές λίμνες σχηματίζονται από τα νερά των βροχών και από το λιώσιμο του χιονιού κατά τη διάρκεια του χειμώνα και της άνοιξης. Η επιφάνεια του νερού σε μια μεγάλη λίμνη αυξάνεται κατά τη διάρκεια των βροχών.

(http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher4_2.html).

16.1. Προέλευση και εξέλιξη των λιμνών

Οι λίμνες σχηματίζονται σε στεγανές κοιλάτητες του εδάφους (που δεν επιτρέπουν την εισροή του νερού στο υπέδαφος), όπου η ποσότητα του νερού που συγκεντρώνεται είναι μεγαλύτερη από αυτή που εξατμίζεται.

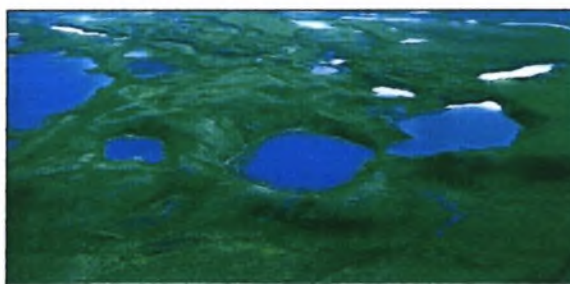
Οι λίμνες κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τα φαινόμενα που προκάλεσαν τη δημιουργία τους, ως εξής:

- Τεκτονικές, οι οποίες δημιουργήθηκαν από μετακινήσεις και διαρρήξεις του στερεού φλοιού της γης.
- Ηφαιστειακές, οι οποίες καταλαμβάνουν κρατήρες σβησμένων ηφαιστειών ή δημιουργήθηκαν μετά τη φραγή ενός ποταμού από λάβα.



Σχήμα:16.1.1 : Λίμνη ηφαιστειακής προέλευσης

- Καρστικές, οι οποίες δημιουργήθηκαν από τη διάβρωση ασβεστολιθικών ή δολομιτικών πετρωμάτων από υπόγεια ή επιφανειακά νερά, π.χ. λίμνες Πρεσπών, Καστοριάς και Ιωαννίνων.
- Παγετωνικές, οι οποίες δημιουργήθηκαν από τη διέλευση των παγετώνων κατά μήκος μιας κοιλάδας ποταμού, η οποία διευρύνεται και υποσκάπτεται, ενώ το κατώτερο τμήμα της φράσσεται από τα φερτά υλικά που συγκεντρώνονται εκεί μετά το λιώσιμο των πάγων.

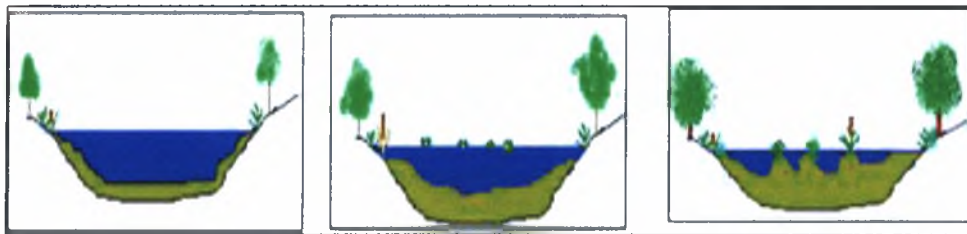


Σχήμα:16.1.2. : Λίμνη παγετωνικής προέλευσης.

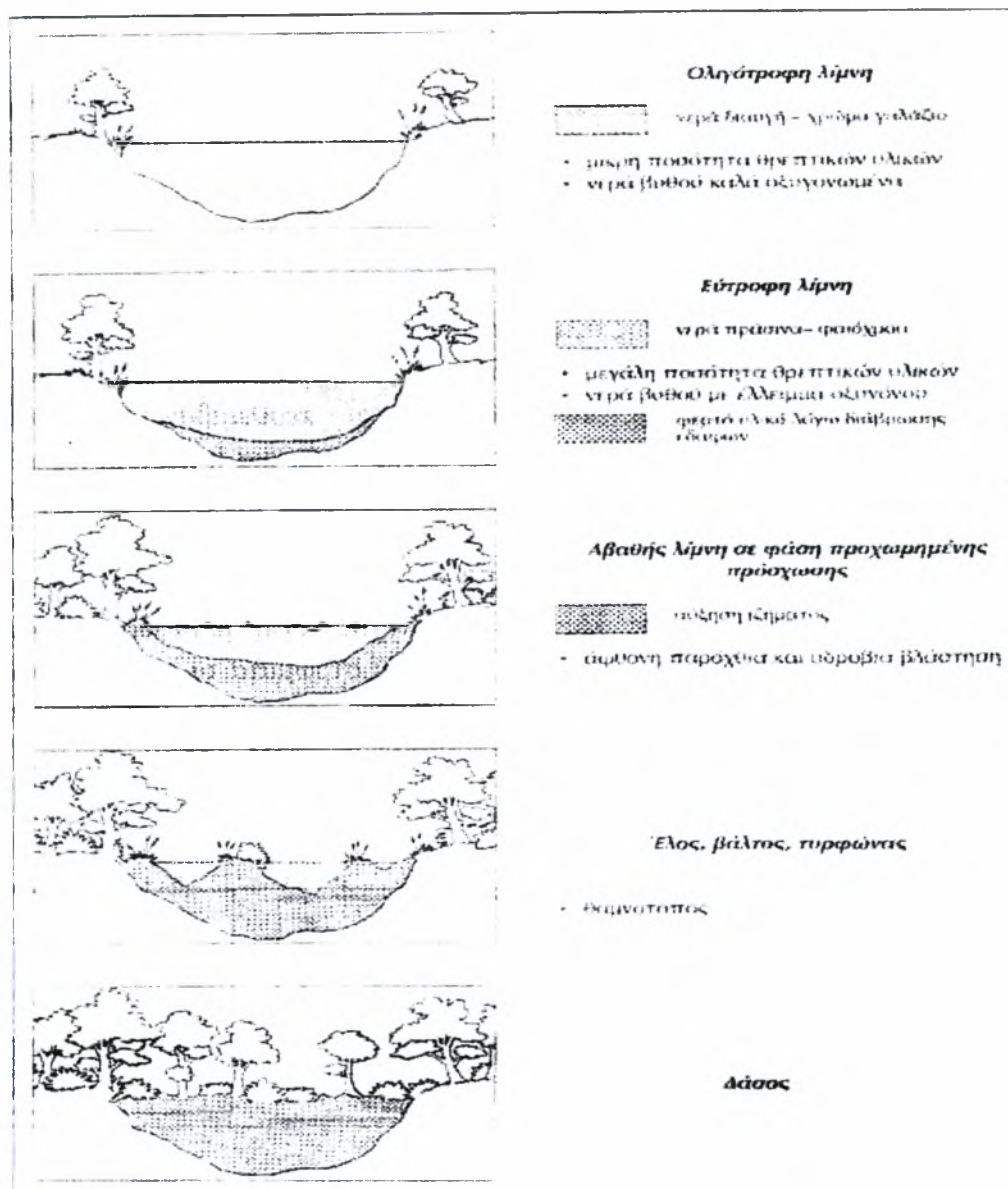
- Λίμνες Κατολισθήσεων, οι οποίες δημιουργήθηκαν από κατολισθήσεις που έφραξαν τη ροή ποταμών, όπως, για παράδειγμα, η λίμνη Τσιβλού στην Ακράτα της Πελοποννήσου.
- Παράκτιες, οι οποίες δημιουργήθηκαν από την επίδραση των παλιρροϊκών και κυματικών δυνάμεων της θάλασσας που παρασύρουν άμμο και την εναποθέτουν στην εκβολή ενός ποταμού. Ο καθολικός αποκλεισμός της θάλασσας σχηματίζει μια παράκτια λίμνη, όπως ήταν αυτή της Αγουλινίτσας στη Πελοπόννησο. Συνήθως, όμως, δεν υπάρχει ολοκληρωτικός αποκλεισμός της θάλασσας, οπότε έχουμε το σχηματισμό λιμνοθάλασσας, όπως αυτή του Μεσολογγίου.

- Τεχνητές λίμνες ή ταμιευτήρες, οι οποίες δημιουργήθηκαν με την ανθρώπινη παρέμβαση, συνήθως μετά την κατασκευή φραγμάτων π.χ. η λίμνη Κερκίνη.

Όλες οι λίμνες ακολουθούν παρόμοια εξέλιξη περνώντας από τα στάδια της νεότητας, του γηρασμού και της τελικής πλήρωσης. Η διάρκεια ζωής της κάθε λίμνης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη λεκάνη απορροής. Η **λεκάνη απορροής** είναι η ευρύτερη περιοχή συλλογής των υδάτων και περιλαμβάνει ένα σύστημα επιφανειακών υδάτων που περιέχει ρυάκια, ποτάμια και μια ή περισσότερες λίμνες. Έτσι, μέσω των ρεόντων υδάτων διαβρώνεται το έδαφος της λεκάνης απορροής, με αποτέλεσμα να μεταφέρονται υλικά στις λίμνες. Τα συστατικά αυτά μπορεί να είναι σε μορφή διαλυμένων ή αιωρούμενων σωματιδίων, αλλά και φερτό υλικό που καθιζάνει στον πυθμένα της λίμνης. Η συνεχής αυτή μεταφορά υλικών που βυθίζονται στον πυθμένα δημιουργεί ιζηματογενή στρώματα τα οποία με τον καιρό μειώνουν το βάθος της λίμνης, με αποτέλεσμα αυτή να μετατρέπεται σε έναν αβαθή βαλτώδη υγρότοπο. (http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher4_2.html).



Σχήμα: 16.1.3. : Η εξέλιξη των λιμνών.



Σχήμα: 16.1.4. : Φυσική εξέλιξη μιας λίμνης («φυσική γήρανση»).

Στις ευτροφικές αλλά μη παραγωγικές λίμνες ανήκουν οι περιπτώσεις των αβαθών λιμνών που εκτίθενται στη δράση του ανέμου και τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να μειώσουν τόσο πολύ τη διείσδυση του φωτός στο νερό με αποτέλεσμα να υπάρχει μικρή φυτική ανάπτυξη. Τα επίπεδα των θρεπτικών όμως είναι ψηλά. Ο φυσικός ευτροφισμός σε αντιδιαστολή με τον ανθρωπογενή ή τον τεχνητό είναι φυσική διαδικασία (παραπάνω σχήμα). Από τη στιγμή της δημιουργίας τους, οι σχετικά μικρές λίμνες, θα παρουσιάσουν μια διαδοχή με τελευταίο στάδιο το θάνατο τους. Μόλις σχηματιστεί μια λίμνη, το βάθος της αρχίζει να ελαττώνεται βαθμιαία από τα φερτά υλικά (προσχώσεις). Εγκαθίστανται βιοκοινότητες φυτών και ζώων και αυξάνεται σταδιακά η παραγωγικότητα της υδάτινης μάζας. Διέρχεται λοιπόν από τα

διάφορα τροφικά στάδια, αρχίζοντας από χαμηλή παραγωγικότητα ή ολιγοτροφία. Το στάδιο της μέτριας παραγωγικής κατάστασης ορίζεται ως μεσοτροφία.

Η ολοκληρωτική πρόσχωση της λίμνης, διαδικασία που απαιτεί εκατοντάδες χρόνια, δεν είναι η υποχρεωτική αλλά μια από τις πιθανές πορείες της εξέλιξης της λίμνης. Η πορεία αυτή, της φυσικής γήρανσης, εξαρτάται από τις μορφομετρικές, τις εδαφικές και τις κλιματικές συνθήκες.

16.2. Λιμναίο οικοσύστημα

Η δομή και η κατάσταση του λιμναίου οικοσυστήματος εξαρτάται από τη λεκάνη απορροής, καθώς τα χαρακτηριστικά της (μέγεθος και γεωλογική σύσταση) σε συνδυασμό με το κλίμα αλλά και τις ανθρώπινες χρήσεις της περιοχής αυτής, καθορίζουν την ποσότητα και την ποιότητα των χημικών στοιχείων που εισέρχονται στη λίμνη.

(http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher4_2.html)

16.3 Μορφομετρικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του λιμναίου οικοσυστήματος

Τα μορφομετρικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της λίμνης είναι:

1. η έκταση (A), είναι το εμβαδόν της επιφάνειας της λίμνης.
2. το μέγιστο βάθος (Z_{max}) και το μέσο (Z) βάθος της λίμνης. Το μέσο βάθος μιας λίμνης υπολογίζεται από το λόγο του όγκου του νερού προς την επιφάνειά του.
3. το μήκος (L) και το πλάτος της. Το μέσο πλάτος B είναι ο λόγος της επιφάνειας A της λίμνης προς το μέγιστο μήκος της. $B=A/L$
4. ο όγκος (V) του νερού, το μήκος και η διαμόρφωση της ακτογραμμής της. Ο όγκος της λίμνης = Σ όγκων στρωμάτων. (όγκος στρώματος = $h/3(a_1+a_2+\sqrt{a_1a_2})$, όπου a_1 : η έκταση του επιφανειακού στρώματος και a_2 : η έκταση στρώματος του πυθμένα.

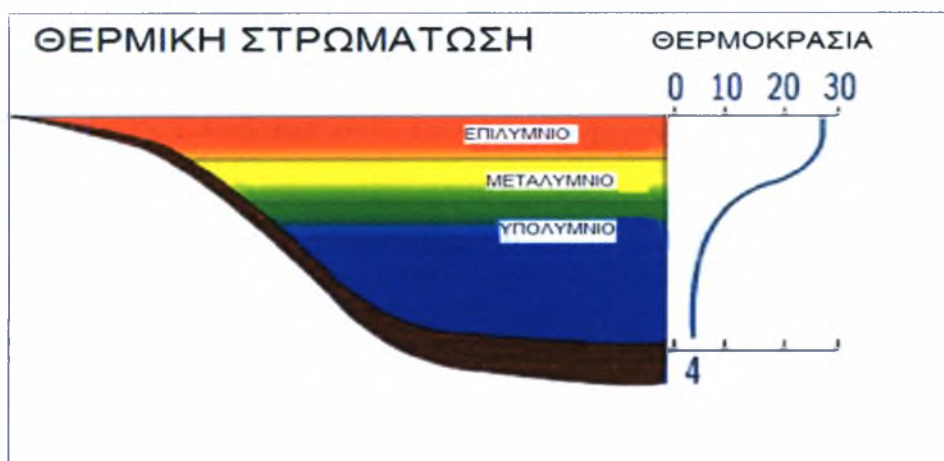
Τα χαρακτηριστικά αυτά με τη σειρά τους καθορίζουν την κατανομή των φυσικών παραμέτρων (φως, θερμοκρασία) και κατ' επέκταση, διαμορφώνουν την κατανομή των χημικών (pH, O₂, θρεπτικά συστατικά) και βιολογικών παραμέτρων (χλωρίδα, πανίδα). (http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher4_2.html)

16.4. Υδραυλικός χρόνος παραμονής του νερού στη λίμνη

Ένας ακόμη παράγοντας που καθορίζει τη δομή του λιμναίου οικοσυστήματος είναι ο **υδραυλικός χρόνος παραμονής** του νερού στη λίμνη, δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται για να ξαναγεμίσει μια άδεια λίμνη μέσω της φυσικής ροής των νερών που την τροφοδοτεί. Ο παράγοντας αυτός αποτελεί ένα σημαντικό δείκτη της ρύπανσης και της κατανομής των θρεπτικών συστατικών στη λίμνη. (http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher4_2.html).

16.5. Οι φυσικές παράμετροι στο λιμναίο οικοσύστημα

Οι φυσικές παράμετροι περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία και τη φωτεινότητα. Στις βαθιές λίμνες ο βυθός παραμένει σκοτεινός, όπως και στη θάλασσα. Η επιφανειακή ζώνη της λίμνης που φτάνει το φως λέγεται **ευφωτική**, ενώ η ζώνη στην οποία δε φτάνει το φως λέγεται **αφωτική**. Η παρουσία ή η απουσία του φωτός επηρεάζει και τη θερμοκρασία του νερού, με αποτέλεσμα το νερό στην επιφάνεια να είναι πιο θερμό και αραιό, ενώ σε μεγαλύτερα βάθη πιο ψυχρό και πυκνό (θερμική στρωμάτωση λίμνης). Το τμήμα αυτό που χαρακτηρίζεται από την απουσία του φωτός και από ψυχρό και πυκνό νερό ονομάζεται υπολίμνιο, ενώ το επιφανειακό τμήμα ονομάζεται επιλίμνιο. Μεταξύ των δύο αυτών στρωμάτων δημιουργείται ένα περιορισμένο στρώμα, όπου αναμειγνύεται το θερμό νερό του επιλίμνιου με το ψυχρότερο του υπολίμνιου, που ονομάζεται μεταλίμνιο. Η στρωμάτωση είναι πιο έντονη το καλοκαίρι και εξαφανίζεται το φθινόπωρο με την πτώση της θερμοκρασίας. Οι διαφοροποιήσεις αυτές παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της ισορροπίας των λιμναίων οικοσυστημάτων. Στις ρηχές λίμνες το φως φτάνει ως το βυθό, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει αυτή η στρωμάτωση. (http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher4_2.html)



Σχήμα: 16.5.1. : Θερμική Ζώνωση των λιμνών. (<http://waterontheweb.org/>).

16.6. Οι χημικές παράμετροι στο λιμναίο οικοσύστημα

Οι χημικές παράμετροι που επηρεάζουν τα λιμναία οικοσυστήματα είναι η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου, τα θρεπτικά συστατικά και η ενεργός οξύτητα (pH).

Πιο συγκεκριμένα, ο εμπλουτισμός της λίμνης σε οξυγόνο γίνεται μέσω διάχυσης του ατμοσφαιρικού οξυγόνου στο νερό και μέσω της παραγωγής οξυγόνου κατά τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης από τα ανώτερα υδρόβια φυτά, τα φύκη, το **φυτοπλαγκτόν** και το **περίφυτο**. Στις λίμνες το οξυγόνο υπάρχει σε πολλές μορφές και δεν είναι πάντα διαλυμένο στο νερό. Η διαλυτότητα του οξυγόνου και η κατανομή του στο νερό των λιμνών εξαρτώνται από:

- α) το κλίμα
- β) τη θερμοκρασία του νερού και τη θερμική στρωμάτωση της λίμνης
- γ) το υψόμετρο (ατμοσφαιρική πίεση)
- δ) τον κυματισμό
- ε) την παρουσία φωτοσυνθετικών οργανισμών
- στ) την παρουσία αερόβιων οργανισμών
- ζ) το οργανικό και ανόργανο υλικό (που παράγεται στο εσωτερικό της λίμνης ή που εισέρχεται στη λίμνη)
- η) την περιεκτικότητα σε οξυγόνο των εισερχόμενων στη λίμνη νερών (υπολίμνιες πηγές, επιφανειακά ρεύματα που απορρέουν στη λίμνη)
- θ) το σχήμα και μέγεθος της λεκάνης απορροής.

Όσον αφορά στα **θρεπτικά συστατικά**, δηλαδή όλες τις ουσίες που είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη των οργανισμών, αυτά διακρίνονται σε μακροθρεπτικά, όπου είναι απαραίτητη η μεγάλη συγκέντρωσή τους στο νερό (ο άνθρακας, τα νιτρικά, νιτρώδη, αμμωνιακά και φωσφορικά άλατα, το πυρίτιο, τα κατιόντα ασβεστίου, μαγνησίου, καλίου και τα ανιόντα θείου) και σε μικροθρεπτικά ή **ιχνοστοιχεία** που είναι απαραίτητα σε μικρές μόνο ποσότητες (τα κατιόντα των μετάλλων σιδήρου (Fe), μαγγανίου (Mn), χαλκού (Cu) και ψευδαργύρου (Zn) κ.ά). Από τα θρεπτικά συστατικά που καθορίζουν τη βιοποικιλότητα σε ένα λιμναίο **οικοσύστημα**, τα νιτρικά, τα νιτρώδη και τα αμμωνιακά, αποτελούν ενώσεις του αζώτου (N) οι οποίες εισάγονται στο νερό από τη δέσμευση ατμοσφαιρικού αζώτου, τη διάβρωση και απόπλυση των εδαφών της λεκάνης απορροής, από τα υπόγεια και τα επιφανειακά νερά, την αποσύνθεση οργανικού υλικού από βακτήρια και από τα παντός είδους απόβλητα που εισρέουν στη λίμνη (γεωργικά και αστικά λύματα). Τα αμμωνιακά και τα νιτρώδη άλατα εισέρχονται στο νερό και, όταν υπάρχει αρκετό οξυγόνο, τα βακτήρια τα μετατρέπουν σε νιτρικά άλατα (βακτηριακή νιτροποίηση),

τα οποία προσλαμβάνονται από τους φυτικούς οργανισμούς. Όταν η συγκέντρωση του φυτοπλαγκτού αυξάνεται (κατά τους θερινούς μήνες), η συγκέντρωση των νιτρικών αλάτων μπορεί να μειωθεί δραστικά στο επιφανειακό στρώμα του νερού. Αντίστοιχα, η χαμηλή συγκέντρωση οξυγόνου στα βαθύτερα στρώματα αποτρέπει το σχηματισμό νιτρικών αλάτων από τα βακτήρια.

Ένα από τα βασικά θρεπτικά συστατικά των ζωικών και των φυτικών οργανισμών αποτελεί και ο φώσφορος (P), με τη μορφή φωσφορικών κυρίως ιόντων (PO_4^{3-} και HPO_4^{2-}). Πηγές των φωσφορικών ιόντων στο υδάτινο περιβάλλον αποτελούν τα γεωργικά και βιομηχανικά λύματα και η απελευθέρωσή τους μέσω της διάβρωσης του εδάφους της λεκάνης απορροής. Ο φώσφορος αποτελεί συνήθως περιοριστικό παράγοντα της πρωτογενούς παραγωγής στα εσωτερικά ύδατα και είναι καθοριστικής σημασίας για την αποκατάσταση της οικολογικής ισορροπίας. Οι ενώσεις του φωσφόρου στο νερό διακρίνονται σε οργανικές ή ανόργανες, διαλυμένες ή σωματιδιακές. Η συγκέντρωση του φωσφόρου στο υδάτινο περιβάλλον εξαρτάται από τη θερμοκρασία, το pH και τη συγκέντρωση νιτρικών και νιτρωδών αλάτων. Η ανακύκλωση του φωσφόρου στο νερό επιτυγχάνεται, όταν κατά την αποικοδόμηση των νεκρών οργανισμών απελευθερώνονται φωσφορικές ενώσεις που καθιζάνουν στον πυθμένα και, εν συνεχεία, διαχέονται ξανά στο νερό, για να δεσμευτούν από το φυτοπλαγκτόν και την υπόλοιπη υδρόβια βλάστηση.

Εκτός από το άζωτο και το φώσφορο, σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της υδρόβιας ζωής κατέχουν το θείο (S) και το πυρίτιο (Si). Οι πιο σημαντικές πηγές εισροής θείου στο υδάτινο περιβάλλον είναι οι βροχοπτώσεις, με τη βοήθεια των οποίων το ατμοσφαιρικό θείο καθιζάνει στο νερό, και τα ιζηματογενή πετρώματα που είναι πλούσια σε θείο.

Τέλος, τα ιχνοστοιχεία, αν και έχουν μικρή περιεκτικότητα στο νερό, είναι απαραίτητα για τη σωστή ανάπτυξη των υδρόβιων οργανισμών. Η φυσική εισροή τους στην υδάτινη μάζα της λίμνης γίνεται κυρίως μέσω της διάβρωσης των πετρωμάτων από το νερό. Σήμερα, όμως, μεγάλο ποσοστό της συγκέντρωσής τους στο νερό οφείλεται σε ανθρωπογενείς παράγοντες, και κυρίως σε βιομηχανικά απόβλητα.

Η περιεκτικότητα του νερού σε θρεπτικά συστατικά διαφοροποιεί τις λίμνες σε:

- **ολιγοτροφικές**, οι οποίες περιέχουν μικρή ποσότητα θρεπτικών και χαρακτηρίζονται από μειωμένη παρουσία βλάστησης και διαυγές νερό. Είναι συχνά βαθιές και τα νερά τους είναι διαυγή και δεν παρουσιάζουν έλλειψη διαλυμένου οξυγόνου.
- **μεσοτροφικές**, οι οποίες έχουν πιο πλούσια φυτική βλάστηση και διαυγές νερό

- **ευτροφικές**, που έχουν αυξημένη περιεκτικότητα θρεπτικών και αυξημένη φυτική βλάστηση, η οποία προκαλεί μειωμένη διαύγεια των νερών. Είναι μάλλον αβαθής και έχουν μεγάλη σχέση λεκάνης απορροής προς την επιφάνεια της λίμνης. Τα επίπεδα των θρεπτικών αλάτων και του οργανικού υλικού είναι ψηλά.

Στη γένεσή τους οι λίμνες είναι oligotroφικές και όσο πλησιάζουν προς το στάδιο της τελικής πλήρωσης μετατρέπονται σε ευτροφικές. Παρολαυτά ο ευτροφισμός μπορεί να επέλθει στο λιμναίο περιβάλλον πολύ πριν το στάδιο της τελικής πλήρωσης της λίμνης, λόγω των ανθρωπογενών επιδράσεων. (<http://waterontheweb.org/>).

16.7. Η ενεργός οξύτητα (pH)

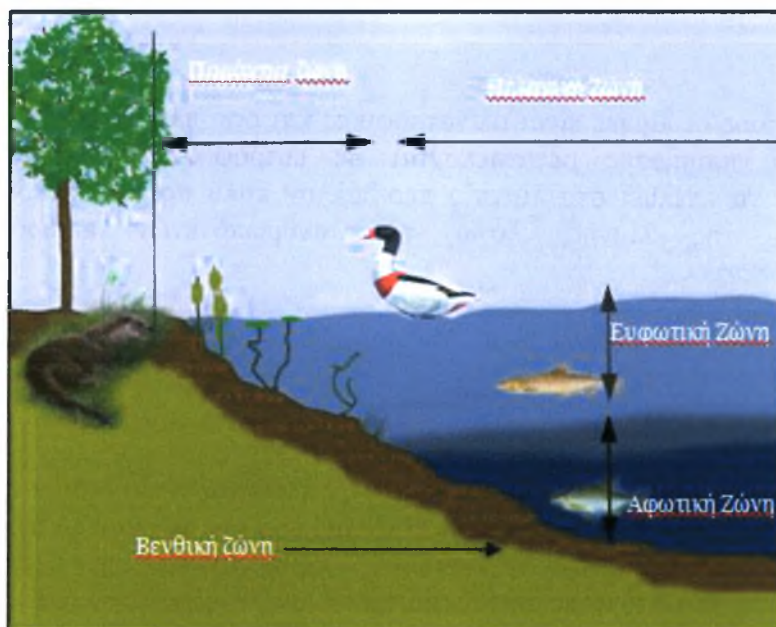
Ένας ακόμη παράγοντας που χαρακτηρίζει την ποιότητα των υδάτων είναι η **ενεργός οξύτητα (pH)**. Τα φυσικά νερά έχουν τιμές pH που κυμαίνονται μεταξύ των 4-9 μονάδων, ενώ οι τιμές 6,5-8,5 είναι στις περισσότερες περιπτώσεις οι καταλληλότερες για τους υδρόβιους οργανισμούς. Η ενεργός οξύτητα του νερού εξαρτάται, επίσης, από τη θερμοκρασία, την αλατότητα (παρουσία ανιόντων θείου, χλωρίου κ.ά., μεταλλικών κατιόντων ασβεστίου, μαγνησίου κ.ά.), τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα και του οξυγόνου, καθώς και από τη μεταβολική δραστηριότητα των υδρόβιων οργανισμών (φωτοσύνθεση, αναπνοή) και την αποσύνθεση των οργανικών ουσιών.

Η οξύτητα του νερού παίζει καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη των υδρόβιων οργανισμών, καθώς επηρεάζει την περιεκτικότητα του νερού σε ιχνοστοιχεία. Αλλαγές στην οξύτητα του νερού μπορούν να αυξήσουν τη διάβρωση του εδάφους από το νερό και, κατά συνέπεια, να εμπλουτίσουν το νερό σε συστατικά που ήταν εγκλωβισμένα στο έδαφος. (<http://waterontheweb.org/>).

16.8. Η βιοποικιλότητα

Η βιοποικιλότητα των λιμναίων οικοσυστημάτων συνήθως αυξάνει με το μέγεθος του εμβαδού της λίμνης. Οι μεγάλες λίμνες προσελκύουν πολλούς ζωικούς οργανισμούς που μπορούν να βρουν τροφή και νερό στο περιβάλλον αυτό. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη βιοποικιλότητα είναι η θερμοκρασία, το pH και η διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών. Η ζωή στις λίμνες διαφοροποιείται ανάλογα με την απόσταση από την ακτή της λίμνης. Έτσι, έχουμε την παράκτια και την πελαγική ζώνη. Η παράκτια ζώνη είναι ρηχή και το φως φτάνει μέχρι το βυθό. Σ' αυτήν τη ζώνη παρατηρείται μεγαλύτερη ποικιλία στη **χλωρίδα** της λίμνης διότι ευνοείται η φωτοσυνθετική δραστηριότητα. Η παράκτια ζώνη εξαπλώνεται από τις όχθες της λίμνης έως το βάθος όπου η ένταση του φωτός είναι περίπου 1% της επιφανειακής, δηλαδή στην ευφωτική ζώνη όπου μπορεί να γίνει η φωτοσύνθεση.

Στις περισσότερες λίμνες η ευφωτική ζώνη συμπίπτει με το επιλίμνιο και μόνο σε λίμνες με μεγάλη διαφάνεια η φωτοσυνθετική δραστηριότητα μπορεί να παρατηρηθεί και στο θερμοκλινές.



Σχήμα: 16.8.1.: Το λιμναίο οικοσύστημα. Στην ευφωτική ζώνη μπορούν να αναπτυχθούν όλα τα είδη που φωτοσυνθέτουν, όπως η υδρόβια βλάστηση στην παράκτια ζώνη και το φυτοπλαγκτόν στην πελαγική αλλά και την παράλια.

Τα φυτά της παράκτιας ζώνης εκτός από τροφή για τους φυτοφάγους οργανισμούς της περιοχής, αποτελούν το υπόστρωμα ανάπτυξης για μεγάλο αριθμό μικροσκοπικών φυκών και ασπόνδυλων και παρέχουν μια φυσική κατοικία για ψάρια και άλλους οργανισμούς διαφορετική από αυτή της πελαγικής ζώνης.

Πελαγική ζώνη είναι η περιοχή στα ανοιχτά της λίμνης, όπου το φως δεν φθάνει συνήθως μέχρι τον πυθμένα. Το ιζημα του πυθμένα αποτελεί την **βενθική ζώνη**, στην επιφάνεια της οποίας (πάχος 2-5cm) συναντάται μια μεγάλη ποικιλία οργανισμών, οι λεγόμενοι βενθικοί οργανισμοί που είναι ασπόνδυλα, νύμφες δίπτερων εντόμων (σκνίπες, κουνούπια, μύγες κ.λπ.) και μικρά καρκινοειδή. Η ζώνη αυτή είναι πλούσια σε οργανική ύλη και η παραγωγικότητά της εξαρτάται από το οργανικό περιεχόμενο, τις φυσικές συνθήκες του ιζήματος και από τους ρυθμούς θήρευσης των ψαριών.

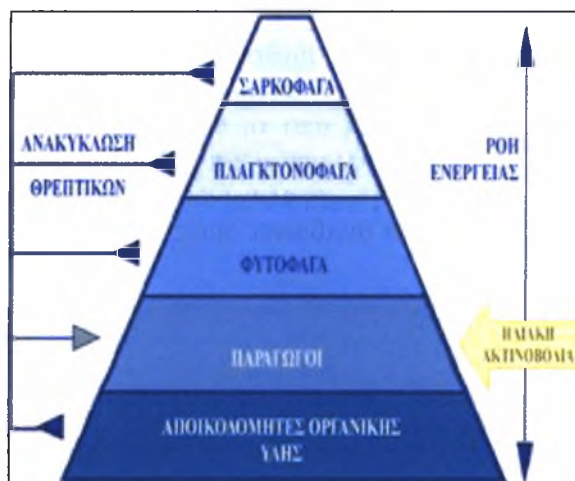
Τα αμμώδη ιζήματα είναι ασταθή και περιέχουν συνήθως μειωμένες ποσότητες θρεπτικών, γι' αυτό και οι φυτικοί οργανισμοί είναι σπάνιοι, ενώ στους βραχώδεις πυθμένες εμφανίζεται μεγάλη ποικιλία ζωής αφού προσφέρουν καταφύγιο στους οργανισμούς από τους θηρευτές τους, υπόστρωμα για να προσκολλούνται τα μικροφύκη (περίφυτον) αλλά και τροφή (οργανική λάσπη) στους διάφορους βενθικούς οργανισμούς. (<http://waterontheweb.org/>).

16.9. Τροφικό πλέγμα

Για να καταλάβουμε πώς λειτουργεί το οικοσύστημα της λίμνης, μπορούμε να οργανώσουμε τις βιολογικές κοινότητες σε τροφικές αλυσίδες και τροφικά πλέγματα. Η απλούστερη παρουσίαση του "ρόλου" ενός οργανισμού σε ένα οικοσύστημα είναι η απεικόνιση της οικολογικής πυραμίδας. Στην πλατιά βάση των παραγωγών ανήκουν οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί και τα κυανοβακτήρια. Οι παραγωγοί υποστηρίζουν τα ανώτερα τροφικά επίπεδα της πυραμίδας, δηλαδή τους φυτοφάγους οργανισμούς (ζωοπλαγκτόν), τους πλαγκτονοφάγους οργανισμούς και τους πολύ μικρότερους πληθυσμούς των σαρκοφάγων (θηρευτών).

Τα φυτά αποτελούν τροφή των καταναλωτών πρώτης τάξης και όταν ολοκληρώσουν τον κύκλο της ζωής τους και νεκρωθούν, γίνονται τροφή των αποικοδομητών. Οι πρωτογενείς καταναλωτές, όπως το ζωοπλαγκτόν και η ποικιλία ασπόνδυλων αποτελούν τροφή για τους καταναλωτές δεύτερης τάξης, που είναι τα μικρά ψάρια και κάποια είδη της ορνιθοπανίδας. Οι μεγαλύτεροι ζωικοί οργανισμοί, όπως τα μεγάλα ψάρια, τα ψαροφάγα πουλιά, οι ψαραετοί, αλλά και ο άνθρωπος είναι καταναλωτές τρίτης τάξης (4ο τροφικό επίπεδο).

Τα πιο πάνω ανεξάρτητα τροφικά επίπεδα μπορούν να απεικονιστούν με τροφικές αλυσίδες, αλλά στην πραγματικότητα πολλοί οργανισμοί είναι παμφάγοι και συνεπώς δεν αντιπροσωπεύονται πάντα μόνο από ένα από τα παραπάνω τροφικά επίπεδα.



Σχήμα: 16.9.1. : Απλοποιημένη παρουσίαση της τροφικής πυραμίδας, της ροής ενέργειας και της ανακύκλωσης των θρεπτικών στοιχείων σε μια λίμνη.

Παράλληλα, οι καταναλωτές πολύ συχνά αλλάζουν τροφικό επίπεδο στη διάρκεια του κύκλου της ζωής τους. Για παράδειγμα ένα ψάρι μπορεί στα πρώτα στάδια της ζωής του να τρέφεται από μικροφύκη, βακτήρια και τρίμματα νεκρής ή αποικοδομούμενης οργανικής ύλης, στη συνέχεια από ζωοπλαγκτόν και στα ώριμα στάδια της ζωής του από άλλα ψάρια.

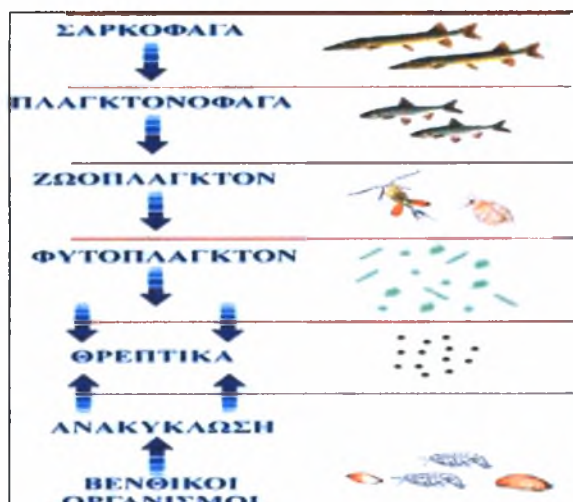
Τα τροφικά πλέγματα είναι συνήθως πολύ σύνθετα και στο οικοσύστημα της λίμνης εκατοντάδες οργανισμοί μπορεί να συμμετέχουν σ' αυτά. Επειδή όμως η διαθέσιμη ενέργεια μειώνεται όσο προχωράμε στα ανώτερα τροφικά επίπεδα, είναι απαραίτητη μια μεγάλη βάση παραγωγών, ώστε να μπορεί να συντηρήσει τα λιγότερα σε αριθμό μεγάλα ψάρια.

Τα τροφικά πλέγματα επίσης απεικονίζουν τη ροή ενέργειας και θρεπτικών (άνθρακας, άζωτο, φώσφορος). Η ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων είναι απαραίτητη για τη λειτουργία του οικοσυστήματος.

Όπως και στα χερσαία οικοσυστήματα, δύο είναι οι βασικές λειτουργίες για τη διατήρηση της ζωής στη λίμνη: η φωτοσύνθεση και η αναπνοή. Τα πράσινα τμήματα των φυτών δεσμεύουν ενέργεια από τον ήλιο και μετατρέπουν τις αβιοτικές ανόργανες χημικές ουσίες (CO_2 , νερό, ανόργανα άλατα) σε οργανικές.

Στους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς της λίμνης περιλαμβάνονται το φυτοπλαγκτόν, το περίφυτον και τα μακρόφυτα. Είναι οι παραγωγοί του συστήματος που παράγουν τις οργανικές ενώσεις που απαιτούνται για τη θρέψη, την πρόσληψη δηλαδή ενέργειας από τους υπόλοιπους οργανισμούς. Το οξυγόνο, παραπροϊόν της φωτοσύνθεσης, προστίθεται στο οξυγόνο της λίμνης που προέρχεται από την ατμόσφαιρα.

Στα υδάτινα στρώματα που ο ρυθμός της φωτοσύνθεσης είναι πολύ υψηλός, όπως στις περιπτώσεις της άνθισης του νερού, το νερό μπορεί να υπερκορεσθεί σε οξυγόνο. Το σημείο κορεσμού του νερού εξαρτάται από τη θερμοκρασία του. Το σημείο κορεσμού του νερού σε οξυγόνο αυξάνεται όσο μειώνεται η θερμοκρασία του. Σε περιόδους στρωμάτωσης της λίμνης, η μοναδική πηγή οξυγόνου για τις βαθύτερες ζώνες είναι οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί. Αυτό συμβαίνει όμως μόνο αν το φως μπορεί να διεισδύσει κάτω από το θερμοκλινές.



Σχήμα:16.9.2. : Απλοποιημένη σχηματική απεικόνιση τροφικού πλέγματος λιμναίου οικοσυστήματος.

Εκτός από φως, το φυτοπλαγκτόν και τα ανώτερα φυτά χρειάζονται οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα και θρεπτικά για να αναπτυχθούν και να επιζήσουν. Εκτός από ελάχιστα είδη κυανοπράσινων μικροφυκών, τα υπόλοιπα δεν μπορούν να επιζήσουν σε ανοξικό περιβάλλον.

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι πρακτικά πάντα διαθέσιμο, αφού προέρχεται από τη χημική και μηχανική διάβρωση, τη διάλυση των ασβεστολιθικών πετρωμάτων τους λεκάνης απορροής, τη διάχυσή του από την ατμόσφαιρα και από τη λειτουργία τους κυτταρικής αναπνοής των οργανισμών τους λίμνης.

Τα βασικά θρεπτικά συστατικά, που είναι το άζωτο και ο φώσφορος, βρίσκονται διαλυμένα στο νερό ή στο ίζημα του πυθμένα και απορροφούνται από τους μικροφυτικούς οργανισμούς και τα ανώτερα φυτά αντίστοιχα. Η χαμηλή συγκέντρωσή τους στο νερό αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη των φυτών.

Άλλα στοιχεία απαραίτητα για τη ζωή είναι τα κύρια ιόντα: ασβέστιο, μαγνήσιο, νάτριο και κάλιο, τα ιχνοστοιχεία σίδηρος, κοβάλτιο, μολυβδαίνιο, μαγγάνιο, βόριο, ψευδάργυρος και είναι συνήθως παρόντα σε επαρκείς συγκεντρώσεις. Το θείο που τους χρειάζονται οι ζωντανοί οργανισμοί υπάρχει συνήθως τους λίμνες με τη μορφή θεικών αλάτων.

Η αναπνοή και η οξείδωση του οργανικού υλικού απελευθερώνει μέρος της ενέργειας που αρχικά δεσμεύτηκε για τη φωτοσύνθεση. Οι μικροοργανισμοί (βακτήρια και μύκητες) καταναλώνουν ένα μεγάλο μέρος του διαθέσιμου οξυγόνου κατά την αποικοδόμηση του νεκρού οργανικού υλικού που αποβάλλεται από τους οργανισμούς, ενώ παράλληλα ανακυκλώνουν τα θρεπτικά που είναι απαραίτητα για τη φωτοσύνθεση. (<http://kpe-kastor.kas.sch.gr/limnology/limnology/parameters.htm>).

16.10. Τεχνητές λίμνες (ταμιευτήρες)

Οι τεχνητές λίμνες είναι ανθρωπογενή οικοσυστήματα και δημιουργούνται συνήθως με την κατασκευή **φράγματος** σε κάποιο σημείο ενός ποταμού, ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη διαχείριση του νερού για την άρδευση καλλιεργούμενων περιοχών και για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Οι τεχνητές λίμνες παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά με αυτά των φυσικών λιμνών. Αποτελούν οικοσυστήματα με πλούσια βιοποικιλότητα, τα οποία πρέπει να προστατεύονται από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες που μπορεί να υποβαθμίσουν το περιβάλλον. (http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher4_2.html).

17. Ευτροφισμός των λιμνών

Ο όρος ευτροφισμός αναφέρεται στην υπέρμετρη αύξηση της φυτικής βιομάζας (φυτοπλαγκτόν, υδρόβια, υδροχαρής βλάστηση) μιας κλειστής υδάτινης μάζας.

Ο ευτροφισμός των λιμνών, ο εμπλουτισμός δηλαδή της υδάτινης μάζας με μεγάλες ποσότητες θρεπτικών αλάτων, κυρίως αζώτου και φωσφόρου μπορεί να οφείλεται σε φυσικούς παράγοντες (γεωγραφικά, γεωμορφολογικά κ.τ.λ.) ή σε ανθρωπογενείς επιδράσεις (αστικά λύματα, βιομηχανικά απόβλητα κ.τ.λ.).



Σχήμα:17.1. : Σε εύτροφες λίμνες και κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του φθινοπώρου (περίοδοι ανάμιξης των νερών) εμφανίζεται το φαινόμενο της "άνθισης του νερού".

Η συνέπεια του ευτροφισμού είναι η αλλοίωση των φυσικοχημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του νερού. Ο ευτροφισμός επιφέρει σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου στο επιφανειακό στρώμα του νερού κατά την διάρκεια της ημέρας, λόγω της έντονης φωτοσύνθεσης. Παράλληλα προκαλεί μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στα βαθύτερα υδάτινα στρώματα, λόγω

αυξημένων αναπνευστικών αναγκών των βακτηρίων που αποικοδομούν τις οργανικές ουσίες και μπορεί να διαμορφώσει ανοξικές συνθήκες προκαλώντας το θάνατο πολλών ψαριών και τη γενικότερη διαταραχή του οικοσυστήματος (αυτός μπορεί να είναι και ένας από τους λόγους για τον οποίο χιλιάδες ψάρια ψόφησαν τρεις φορές μέσα στο 2010).

Σε εύτροφες λίμνες και κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του φθινοπώρου (περίοδοι ανάμιξης των νερών) εμφανίζεται το φαινόμενο της "**άνθισης του νερού**". Η συσσώρευση θρεπτικών αλάτων κατά τη διάρκεια του χειμώνα (εποχή κατά την οποία η αύξηση του φυτοπλαγκτού παρεμποδίζεται λόγω χαμηλών θερμοκρασιών) προκαλεί την ταχεία ανάπτυξη των φωτοσυνθετικών οργανισμών κατά τη διάρκεια της άνοιξης (εποχή κατά την οποία η θερμοκρασία είναι ευνοϊκή για την αύξησή τους).

Η εξάντληση των θρεπτικών ουσιών στο επιλίμνιο, που παρουσιάζεται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω της θερμικής στρωμάτωσης που έχει ως αποτέλεσμα την παρεμπόδιση της ανάμιξης των νερών, περιορίζει το μέγεθος των φυτοπλαγκτονικών πληθυσμών, γιατί τα θρεπτικά άλατα συσσωρεύονται στα κατώτερα στρώματα.

Η φθινοπωρινή ψύξη των νερών προκαλεί ομοιοθερμία και ανάμιξη του νερού, με αποτέλεσμα να επανέρχονται τα θρεπτικά άλατα στα επιφανειακά στρώματα, γεγονός που συντελεί στην ταχεία αύξηση του φυτοπλαγκτού (φθινοπωρινή άνθιση του νερού).

Η αναλογία αζώτου - φωσφόρου παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των τροφικών συνθηκών μιας λίμνης. Στους φυτοπλαγκτονικούς και στους υδρόβιους φυτικούς οργανισμούς γενικότερα η σχέση φωσφόρου / αζώτου είναι 1 άτομο φωσφόρου προς 16 άτομα αζώτου. Αν ο λόγος N/P στο νερό είναι μεγαλύτερος από 16, τότε ο φώσφορος είναι ανεπαρκής για την ανάπτυξη των φωτοσυνθετικών οργανισμών, η έλλειψη δηλαδή του φωσφόρου λειτουργεί ως περιοριστικός παράγοντας για την αύξηση των πληθυσμών τους. (<http://kpe-kastor.kas.sch.gr/limnology/limnology/parameters.htm>).

Ενδεικτικά για την ανάπτυξη ευτροφισμού σε μία λίμνη είναι τα παρακάτω στοιχεία:

Βιολογικοί δείκτες

- Μείωση της ποικιλίας των βενθικών και φυτοπλαγκτονικών ειδών.
- Αύξηση της πρωτογενούς παραγωγικότητας (μεγαλύτερη από 200g C/m³ ανά έτος) - αύξηση της βιομάζας των φυκών, της νηρητικής υδρόβιας και χερσαίας βλάστησης.
- Αύξηση της βακτηριακής πυκνότητας.
- Αύξηση του αριθμού εκείνων των βενθικών και των πλαγκτονικών ειδών, που αποτελούν δείκτες ρύπανσης.

Χημικοί δείκτες

- Έλλειμμα οξυγόνου στον πυθμένα .
- Υπερκορεσμός του επιλίμνιου σε οξυγόνο.
- Αύξηση του ανόργανου αζώτου και φωσφόρου και του ολικού αζώτου και φωσφόρου .
- Αύξηση του λόγου N/P του νερού.
- Μεταβολή του pH του νερού.
- Μεταβολή της σύστασης του ιζήματος του πυθμένα.

Φυσικοί δείκτες

- Μείωση του μέσου βάθους της λίμνης.
- Μείωση της διαφάνειας της λίμνης.

18. Βιολογικά χαρακτηριστικά σε ένα υδατικό οικοσύστημα

Πλαγκτόν : το σύνολο των οργανισμών που η ενεργητική τους μετακίνηση είναι μικρότερη της παθητικής τους λόγω της κίνησης του νερού.

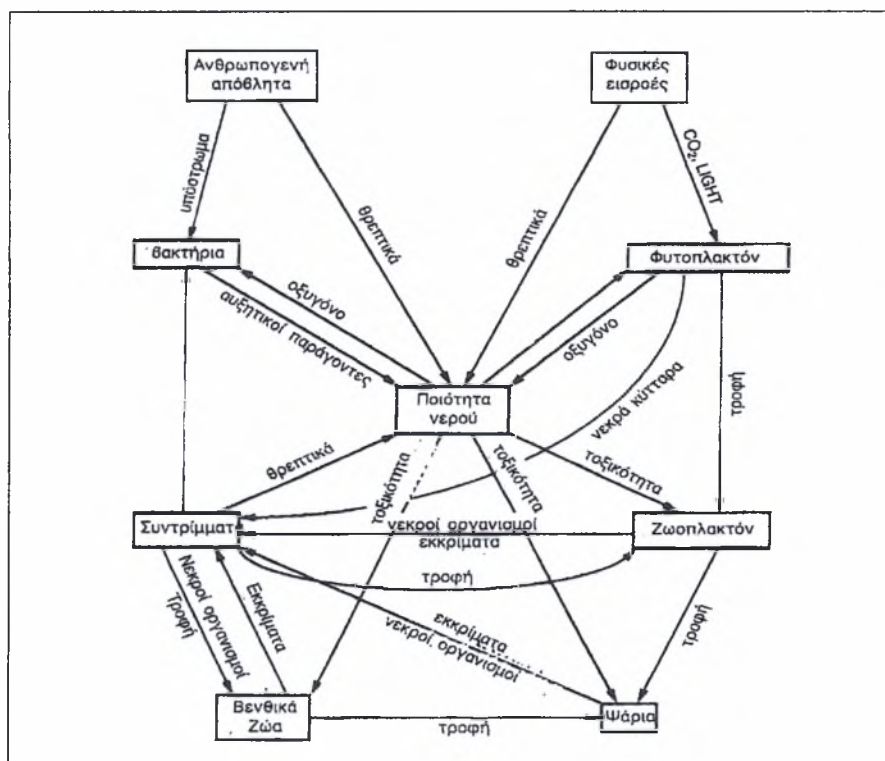
- Φυτοπλαγκτόν: φυτικοί μικροσκοπικοί οργανισμοί που φωτοσυνθέτουν (παραγωγικοί οργανισμοί).
- Ζωοπλαγκτόν: καταναλωτικοί οργανισμοί που τρέφονται με φυτοπλαγκτόν.
- Βακτηριοπλαγκτόν: κυρίως κυανοβακτήρια ή κυανοφύκη (παραγωγικοί οργανισμοί) και ορισμένα αυτοτροφικά βακτήρια (αποικοδομητές).

Νηκτόν: το σύνολο των οργανισμών που μπορούν να κολυμπούν στο νερό.

Βένθος: το σύνολο των οργανισμών οι οποίοι είναι προσκολλημένοι ή ζουν μέσα ή πάνω ή κοντά στο βυθό.

Βακτήρια: κυρίως αποικοδομητές.

Μύκητες : κυρίως αποικοδομητές σε περιορισμένο αριθμό.



Σχήμα: 18.1. : Σχηματική απεικόνιση ενός υδατικού οικοσυστήματος.

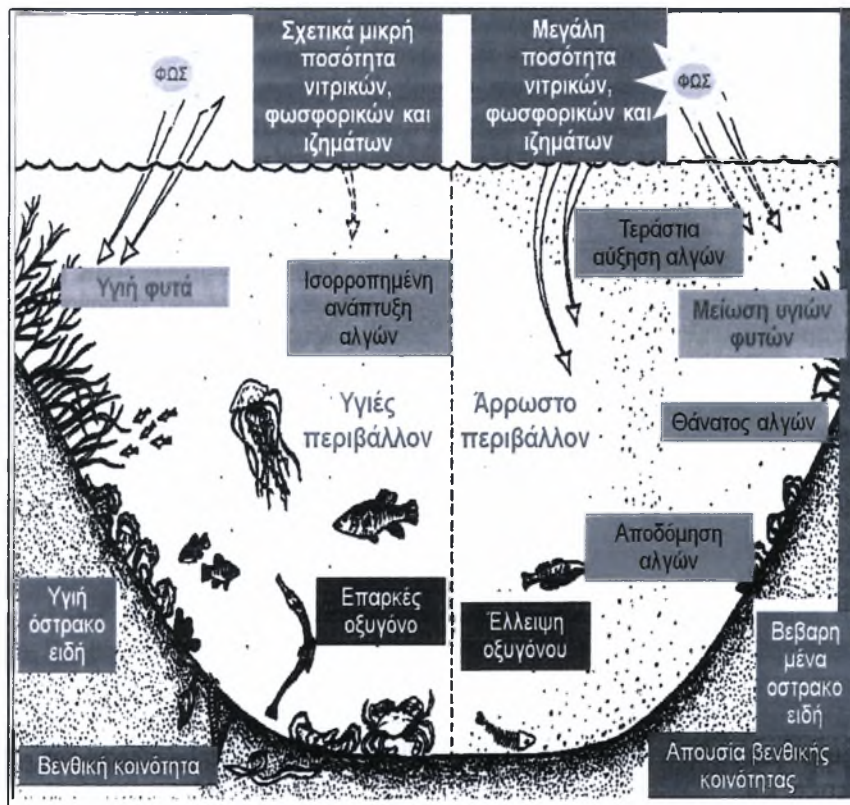
19. Ρύπανση των υδάτων

Ως ρύπανση υδάτων ονομάζεται η μεταβολή των φυσικών, χημικών και βιολογικών παραμέτρων του νερού λόγω της παρουσίας σε αυτό ουσιών σε ποσότητα που υπερβαίνει τα φυσιολογικά όρια. Οι ουσίες αυτές διαλύονται στο νερό, επιπλέουν ή κατακάθονται στο πυθμένα και προέρχονται κυρίως από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Εκτός από την ρύπανση λόγω ουσιών, μπορεί να έχουμε και τη «θερμική ρύπανση των υδάτων» δηλαδή αύξηση της θερμοκρασίας, τη ρύπανση από ακτινοβολία, καθώς και ρύπανση από «αδρανή» υλικά.

Η μικροβιακή ρύπανση των υδάτων προκαλείται από παθογόνους μικροοργανισμούς. Παθογόνοι μικροοργανισμοί, ονομάζονται όσοι είναι ικανοί να μολύνουν ή να μεταφέρουν ασθένειες. Πολλά είδη παθογόνων οργανισμών είναι ικανά να επιβιώσουν στο νερό και διατηρήσουν τις μολυσματικές ιδιοτητές τους για μεγάλες χρονικές περιόδους. (Νεβεςκιώτης, 2010).

Η αισθητική ρύπανση των υδατικών οικοσυστημάτων προκαλείται από:

- ⇒ Αλλαγές στο τοπίο ως συστατικό του φυσικού περιβάλλοντος.
- ⇒ Από αλλοίωση του χρώματος και της διαύγειας του νερού.
- ⇒ Από αλλοίωση της ακτογραμμής.
- ⇒ Από στερεά απόβλητα (απορρίμματα στο νερό).



Σχήμα: 19.1.: Καλή και κακή ποιότητα ζωής σε ένα υδατικό οικοσύστημα.

20. Πιθανά αίτια ρύπανσης του νερού στις λίμνες

Αμμωνία στο νερό

Τα υπόγεια νερά περιέχουν συνήθως αμμωνία λιγότερο από 0.2 mg/l. Σε εδάφη δασών παρατηρούνται υψηλότερες συγκεντρώσεις. Η αμμωνία αποτελεί σημαντικό δείκτη ρύπανσης από κοπρανώδεις ουσίες. Οι κοπρανώδεις ουσίες περιέχουν ακαθαρσίες και επικίνδυνους μικροοργανισμούς. Σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 0.2 mg/l δημιουργεί προβλήματα οσμής και γεύσης στο νερό και

ελαττώνει την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης. Επίσης συμβάλλει στο σχηματισμό νιτρώδων στα συστήματα ύδρευσης.

Οι ζωντανοί οργανισμοί έχουν ανάγκη για την ανάπτυξη και την επιβίωση τους, από ενέργεια και συστατικά τα οποία και εξασφαλίζουν από την τροφή τους. Εκμεταλλεύονται τα στοιχεία της τροφής, κατακρατούν ότι χρειάζονται, και αποβάλλουν τα υπόλοιπα. Στην φύση, τα απόβλητα από τον μεταβολισμό της τροφής εκμηδενίζονται γρήγορα από το οικοσύστημα, με την βοήθεια των βακτηριδίων.

Η Αμμωνία (NH_3) είναι ένα άχρωμο, οξύ και ασφυκτικό αέριο, και αποτελείται από άζωτο και υδρογόνο, και είναι πολύ διαλυτό στο νερό. Η πλειοψηφία των αποβλήτων που παράγονται από τα ψάρια έχει τη μορφή αμμωνίας, τα οποία αποβάλλονται τόσο από του ουροποιητικού τους σύστημα, όσο και από τα βράγχια. Η αμμωνία είναι εξαιρετικά τοξικό για ψάρια και πρέπει να αφαιρεθεί ή να διασπαστεί το συντομότερο. Λόγω της τοξικότητας της αμμωνίας είναι πιθανόν να παρατηρηθούν θάνατοι ψαριών, ακόμα και αφού θα έχει τεθεί η αμμωνία υπό έλεγχο. Οι βλάβες που προκαλεί η αμμωνία είναι σχεδόν πάντα μη αναστρέψιμες. (<http://www.aquahobby.gr/arthra/aquarist/32-o-kiklos-toy-azotoy.html>)

Συμπτώματα συγκέντρωσης της Αμμωνίας

- Αναπνοή από την επιφάνεια
- Θολά μάτια
- Ξεφτισμένο πτερυγίων
- Αδιάφορη συμπεριφορά
- Η αυξημένη παραγωγή βλεννώδους
- Πιθανές εσωτερική και εξωτερική αιμορραγία (αν υπάρχει εξαιρετικής τοξικότητας)

Νιτρώδη

Τα Νιτρώδη (NO_2) είναι επίσης τοξικά για τα ψάρια, αν δεν αφαιρεθούν ή δεν μετατραπούν κατά τη διάρκεια του κύκλου του αζώτου σε νιτρικά. Η τοξικότητα των Νιτρώδων αλάτων εξαρτάται επίσης από το pH, και έτσι αν το pH πέσει πολύ χαμηλά, τα νιτρώδη που περιέχονται στο νερό, το νιτρώδες θα μετατραπούν σε νιτρώδες οξύ που είναι πολύ τοξικό για τα ψάρια.

Συμπτώματα συγκέντρωσης νιτρώδων αλάτων

- Αναπνοή από την επιφάνεια
- Νωθρότητα
- Το αίμα και τα βράγχια παίρνουν καφέ χρώμα

Νιτρικά

Τα Νιτρικά άλατα (NO_3) είναι το τελικό προϊόν της κύκλου του αζώτου, και είναι σχετικά μη τοξικό αν και σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να είναι προκαλέσει πρόβλημα.

Εκτός από τον άνθρακα, το οξυγόνο και το υδρογόνο, βασικά θρεπτικά συστατικά (**μακροθρεπτικά**, στοιχεία απαραίτητα σε μεγάλες σχετικά ποσότητες - $>1000\text{ppm}$) των φυτικών οργανισμών μιας λίμνης είναι τα νιτρικά, τα νιτρώδη και τα αμμωνιακά ιόντα, τα φωσφορικά ιόντα, το πυρίτιο (απαραίτητο στα διάτομα και σε κάποια άλλα πλαγκτικά είδη), τα κατιόντα ασβεστίου, μαγνησίου, καλίου, τα ανιόντα θείου κ.ά. Μεταξύ άλλων τα κατιόντα των μετάλλων σιδήρου, μαγγανίου, χαλκού και ψευδαργύρου αποτελούν τα **μικροθρεπτικά** στοιχεία - **ιχνοστοιχεία** - καθώς είναι απαραίτητα σε μικρές σχετικά ποσότητες ($<100\text{ppm}$, με εξαίρεση το σίδηρο που απαιτείται σε ποσότητες $<1000\text{ppm}$ και $>100\text{ppm}$) από τους οργανισμούς.

Η συγκέντρωση των μακροθρεπτικών στο νερό διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην ποιοτική και την ποσοτική αφθονία των οργανισμών. Για παράδειγμα, ο εποικισμός διαφόρων ειδών φυτοπλαγκτού σε ένα λιμναίο οικοσύστημα σχετίζεται με τη συγκέντρωση ορισμένων ιόντων (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ κ.ά.), ενώ η αύξηση των πληθυσμών τους συνδέεται συνήθως με τη σχετική αφθονία κάποιων άλλων (νιτρώδη, νιτρικά, αμμωνιακά, φωσφορικά, πυριτικά ιόντα).

Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών, των νιτρωδών, των αμμωνιακών και των φωσφορικών ιόντων παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της τροφικής κατάστασης της λίμνης, οι τιμές τους δηλαδή είναι ενδεικτικές για τις συνθήκες (ολιγότροφες, μεσότροφες, εύτροφες) που επικρατούν σε αυτή.

Άζωτο

Το άζωτο είναι ένα από τα κυριότερα συστατικά του ζωντανού πρωτοπλάσματος (αποτελεί το 1-10% του βάρους των φυτών και περισσότερο από 20-30% του βάρους των ζώων) και επηρεάζει σημαντικά την παραγωγικότητα των υδατικών οικοσυστημάτων. Το άζωτο υπάρχει στο νερό ως (παρακάτω εικόνες):

Θρεπτικά στοιχεία

... οι απαραίτητες για την επιβίωση ουσίες, που προσλαμβάνονται από τους οργανισμούς

Βασικά θρεπτικά στοιχεία των φυτικών οργανισμών μιας λέπτης

Ο άνθρακας, το οξυγόνο και το υδρογόνο αποτελούν τα βασικότερα στοιχεία των οργανικών ουσιών.

Τα υπόλοιπα θρεπτικά στοιχεία των φωτοσυνθετικών οργανισμών μπορούν να διακριθούν σε:

Μακροθρεπτικά

- νιτρικά, νιτρώδη, αμμωνιακά ιόντα
- φωσφορικά ιόντα
- κατιόντα καλίου
- κατιόντα ασβεστίου
- ορθοφωσφωρικό οξύ
- κατιόντα μαγνησίου
- ιόντα θείου

Μικροθρεπτικά - Ίχθυοστοιχεία

- κατιόντα σιδήρου
- κατιόντα μαγγανίου
- κατιόντα χαλκού
- κατιόντα ψευδαργύρου

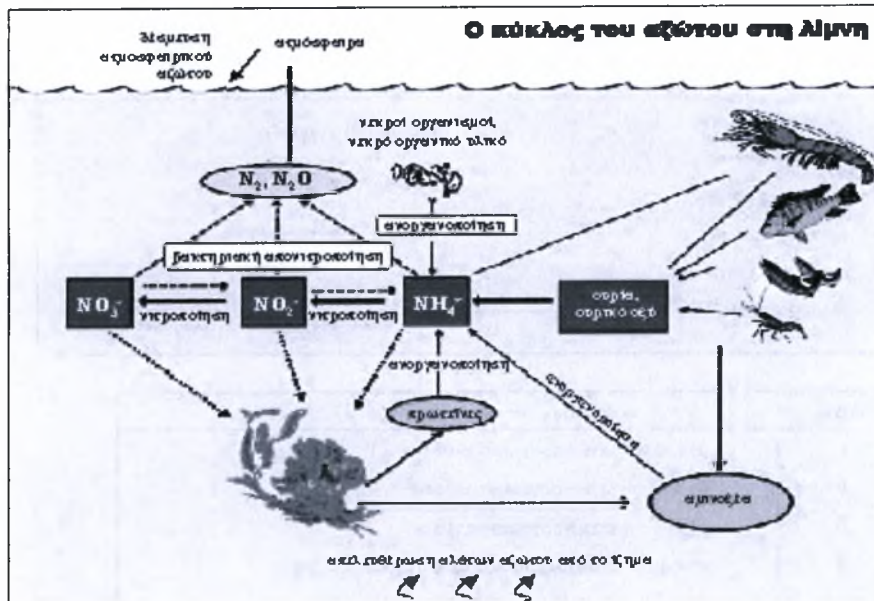
στοιχείο	ενώσεις και λειτουργίες
C	βασικό συστατικό οργανικών ενώσεων
O	βασικό συστατικό οργανικών ενώσεων
H	βασικό συστατικό οργανικών ενώσεων
N	συστατικό αμινοξέων, νουκλεοτιδίων, χλωροφύλλης
K	ενεργοποίηση της πολλών ενζύμων, ισοσημια ιχθυοστομίων
Ca	ρυθμίζει την διαπερατότητα κυττάρων
P	συστατικό νουκλεοτιδίων, ATP, φωσφολιπιδίων
Mg	ενεργοποίηση της ενζύμων, συστατικό χλωροφύλλης
S	συστατικό αμινοξέων (π.χ. μεθειονίνης)
Fe	σύνθεση χλωροφύλλης
Cu	ενεργοποίηση της μερικών ενζύμων
Mn	ενεργοποίηση της μερικών ενζύμων
Zn	ενεργοποίηση της μερικών ενζύμων

- διαλυμένο αέριο άζωτο
- άζωτο δεσμευμένο σε οργανικές ενώσεις, όπως πρωτεΐνες, αμινοξέα, ουρία κ.ά.
- αμμωνία, κυρίως ως αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+ και NH_4OH^-)
- νιτρώδη ιόντα
- νιτρικά ιόντα

Αρκετές είναι οι ενώσεις του αζώτου που συμπεριλαμβάνονται στα θρεπτικά στοιχεία του φυτοπλαγκτού (νιτρικά, τα πιο εύληπτα από τα φυτά άλατα, νιτρώδη, αμμωνιακά ιόντα). Τα άλατα του αζώτου προέρχονται συνήθως από το ίζημα και απελευθερώνονται ως αμμωνία σε ανοξικές συνθήκες και ως νιτρικά στις περιόδους κυκλοφορίας του νερού, όπου το διαλυμένο οξυγόνο βρίσκεται σε αφθονία. Μερικά

είδη κυανοφυκών - κυανοβακτηρίων μπορούν να δεσμεύουν το διαλυμένο στο νερό ατμοσφαιρικό άζωτο.

(<http://kpe-kastor.kas.sch.gr/limnology/limnology/nutrients.htm>)



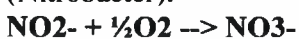
Σχήμα: 20.1.: . Απλοποιημένη απεικόνιση του κύκλου του αζώτου σε μια λίμνη.

Συγκεκριμένα βακτήρια οξειδώνουν τα αμμωνιακά και τα νιτρώδη άλατα σε νιτρικά (βακτηριακή νιτροποίηση).

(Nitrosomonas):



(Nitrobacter):



Ανάμεσα στους παράγοντες που επιδρούν στην πορεία της βακτηριακής νιτροποίησης είναι το pH του νερού, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου, η θερμοκρασία κ.ά.

Η διαδικασία της νιτροποίησης ευνοείται σε ουδέτερες ως ελαφρά αλκαλικές τιμές του pH. Σε τιμές pH μικρότερες από το 7 η νιτροποίηση καθυστερεί ή αναστέλλεται καθώς οι όξινες συνθήκες δυσχεραίνουν τη λειτουργία των *Nitrosomonas* και *Nitrobacter*. Σε τιμές του pH μεγαλύτερες του 8, τα άτομα *Nitrobacter* παύουν να μετατρέπουν τα νιτρώδη σε νιτρικά και συνεπώς η διαδικασία της νιτροποίησης αναστέλλεται επίσης.

Είναι προφανές ότι η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό παίζει καθοριστικό ρόλο στη νιτροποίηση, στην οξείδωση δηλαδή της αμμωνίας σε νιτρώδη και νιτρικά ιόντα. Σε μια υδάτινη συλλογή ο ρυθμός νιτροποίησης μειώνεται με το βάθος.

Όσον αφορά την επίδραση της θερμοκρασίας στο ρυθμό βακτηριακής νιτροποίησης, χαμηλές θερμοκρασίες είναι δυσμενείς για την ανάπτυξη των συγκεκριμένων βακτηρίων. Συνεπώς, κατά τη διάρκεια της ψυχρής εποχής του έτους, παρατηρείται συσσώρευση νιτρικών ιόντων.

Αντίθετη της βακτηριακής νιτροποίησης διαδικασία είναι η **βακτηριακή απονιτροποίηση**. Μια μεγάλη ποικιλία βακτηριακών οργανισμών (*Escherichia coli*, *Serratia marcescens* κ.ά) συμμετέχουν στην αναγωγή των νιτρικών και των νιτρώδων ιόντων, χρησιμοποιώντας οξυγόνο ανιόντων (π.χ. NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-}) για την οξείδωση οργανικού υλικού ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$). Αναερόβιες συνθήκες ευνοούν τη βακτηριακή απονιτροποίηση.

Οι συγκεντρώσεις των ενώσεων του αζώτου στις λίμνες ποικίλουν ανάλογα με τις συνθήκες. Οι ρυθμοί παραγωγικότητας και οι παράγοντες που ελέγχουν μέχρι ένα βαθμό τις βακτηριακές δραστηριότητες, επηρεάζουν τη συγκέντρωση των ενώσεων του αζώτου. Κατά τη θερινή στρωμάτωση μιας λίμνης τα νιτρικά μπορεί ακόμα και να εξαφανιστούν στο επιφανειακό στρώμα του νερού, ως αποτέλεσμα της χρησιμοποίησής τους, όπως επίσης και στα βαθύτερα στρώματα, εξαιτίας της χαμηλής συγκέντρωσης οξυγόνου στα στρώματα αυτά. (<http://kpe-kastor.kas.sch.gr/limnology/limnology/nutrients.htm>).

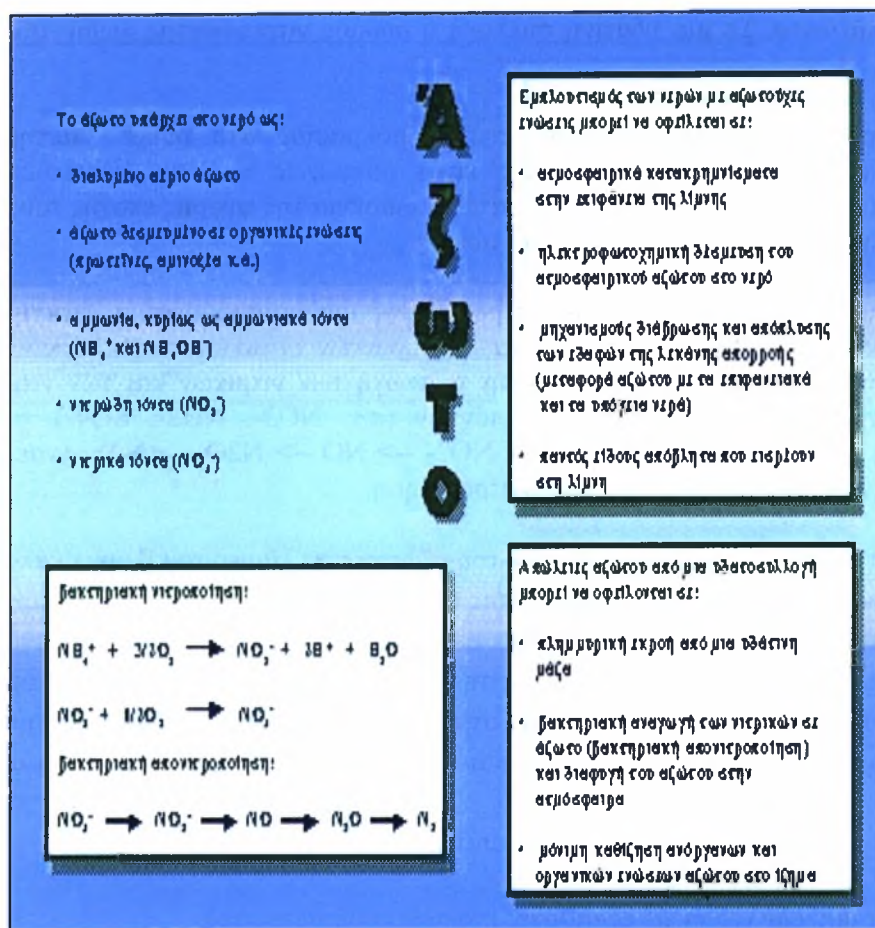
Εμπλουτισμός των νερών με αζωτούχες ενώσεις προέρχεται από:

- ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα στην επιφάνεια μιας λίμνης.
- τη δέσμευση ατμοσφαιρικού αζώτου στο νερό (ηλεκτρική ή φωτοχημική δέσμευση με κατανάλωση ενέργειας που προέρχεται από τις ηλεκτρικές εκκενώσεις).
- από τους μηχανικούς διάβρωσης και απόπλυσης των εδαφών της λεκάνης απορροής, με τα υπόγεια και τα επιφανειακά νερά.
- παντός είδους απόβλητα που εισρέουν στη λίμνη. Χωρίς τέτοιους εμπλουτισμούς σε άζωτο, οι μέγιστες συγκεντρώσεις κυμαίνονται από 10 ως 1000 $\mu\text{g/l}$.

Απώλειες αζώτου από μια υδατοσυλλογή μπορεί να προέλθουν από:

- πλημμυρική εκροή από μια υδάτινη μάζα.
- αναγωγή των νιτρικών σε άζωτο με βακτηριακή απονιτροποίηση και στη συνέχεια διαφυγή του αζώτου στην ατμόσφαιρα.
- μόνιμη καθίζηση στο ίζημα της υδατοσυλλογής ανόργανων και οργανικών συστατικών που περιέχουν άζωτο.

(<http://kpe-kastor.kas.sch.gr/limnology/limnology/nutrients.htm>)



Φώσφορος

Ο φώσφορος, με τη μορφή φωσφορικών κυρίως ιόντων (PO_4^{3-} και HPO_4^{2-}) αποτελεί ένα από τα βασικά θρεπτικά συστατικά τόσο των ζωικών όσο και των φυτικών οργανισμών. Φώσφορος υπάρχει στο μόριο του DNA, του ATP, στην κυτταρική μεμβράνη (φωσφολιπίδια) και αλλού.

Ο φώσφορος αποτελεί συνήθως περιοριστικό παράγοντα της πρωτογενούς παραγωγής και ως εκ τούτου έχει καθοριστική σημασία για την αποκατάσταση της οικολογικής ισορροπίας στη λίμνη. Αν και είναι ένα από τα έξι κύρια κυτταρικά στοιχεία (C, H, O, N, P, S) και η αναλογία του στη νωπή βιομάζα του κυτοπλάσματος μπορεί να ξεπερνάει το 0,5%, η παρουσία του στο φλοιό της γης είναι σπανιότερη από αυτή των άλλων πέντε στοιχείων.

Οι ενώσεις του φωσφόρου στο νερό διακρίνονται σε οργανικές ή ανόργανες, διαλυμένες ή σωματιδιακές. Φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες που συμβαίνουν στο υδάτινο περιβάλλον μεταβάλλουν διαρκώς την αναλογία των παραπάνω μορφών.

Ανάμεσα στους παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκέντρωση του φωσφόρου στο νερό είναι η θερμοκρασία, το pH και η συγκέντρωση των νιτρικών και των νιτρωδών ιόντων. Υψηλές θερμοκρασίες αυξάνουν τους ρυθμούς αποικοδόμησης των οργανικών ουσιών και συνεπώς την απελευθέρωση φωσφόρου. Παράλληλα βέβαια υψηλές θερμοκρασίες εντείνουν την πρόσληψη φωσφόρου από τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς. Συνήθως όμως ο ρυθμός της πρώτης διαδικασίας (απελευθέρωση φωσφόρου) είναι μεγαλύτερος από αυτόν της δεύτερης (δέσμευση φωσφόρου), με αποτέλεσμα υψηλές θερμοκρασίες να επιφέρουν αύξηση της συγκέντρωσης του φωσφόρου στο νερό.

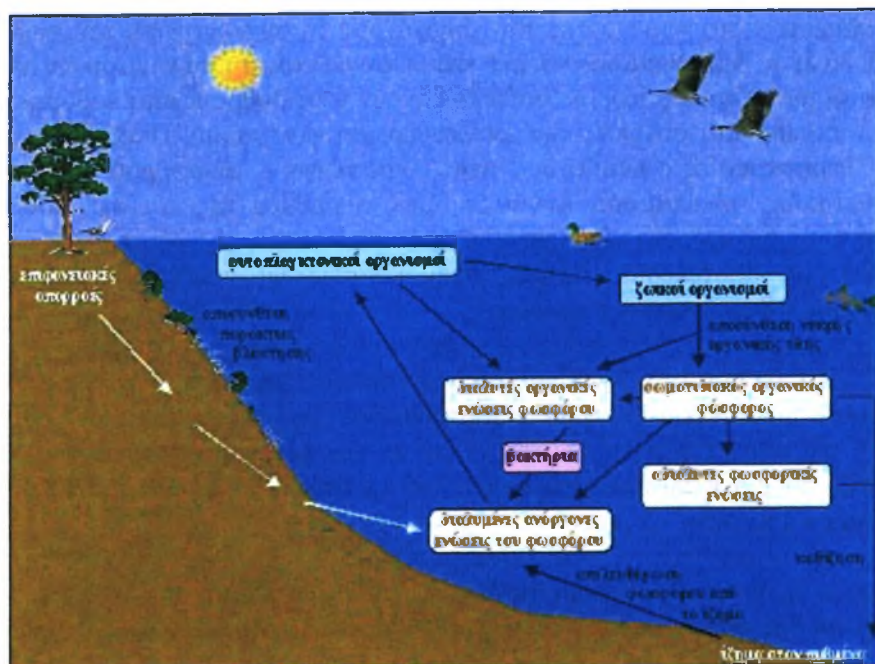
Το pH σχετίζεται με την εσωτερική τροφοδοσία του νερού σε φώσφορο, την επαναιώρηση δηλαδή του φωσφόρου του πυθμένα. Σε υψηλές τιμές pH συμβαίνει ανταλλαγή των ιόντων υδροξυλίου του νερού με φώσφορο από ενώσεις σιδήρου και αργιλίου του πυθμένα. Συνεπώς αύξηση του pH επιφέρει αύξηση της συγκέντρωσης του φωσφόρου στο νερό.

Ανοξικές συνθήκες ευνοούν τη διάχυση του φωσφόρου από τον πυθμένα στο νερό. Αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών και των νιτρωδών ιόντων μειώνει το ρυθμό απελευθέρωσης του φωσφόρου από τον πυθμένα (και συνεπώς τη συγκέντρωση του φωσφόρου στο νερό) εξαιτίας της οξειδωτικής τους δράσης.

Παράλληλα, η παρουσία υδρόβιας μακροφυτικής βλάστησης σε μια υδάτινη συλλογή αυξάνει τη συγκέντρωση του φωσφόρου στο νερό. Οι παραπάνω φυτικοί οργανισμοί προσλαμβάνουν φώσφορο κυρίως από το υπόστρωμα, ενώ κατά την ανάπτυξή τους απελευθερώνουν μεγάλα ποσά φωσφόρου στο νερό, διαδικασία που συνεχίζεται και κατά την ξήρανσή τους. Η παραμονή ξηρών φυτικών τμημάτων στο νερό διευκολύνει την αποσύνθεσή τους, εμπλουτίζοντας το νερό με φωσφορικές ενώσεις.

Ο φώσφορος διαλύεται σχετικά δύσκολα στο νερό και η ένωση του με σίδηρο, αργίλιο και ασβέστιο προκαλεί την καθίζησή του. Η τυπική διαδικασία ανακύκλωσης του φωσφόρου σε μια λίμνη περιγράφεται συνοπτικά παρακάτω. Ο φώσφορος απελευθερώνεται από το επιλίμνιο κατά την αποσύνθεση οργανικών ουσιών και προσλαμβάνεται από το φυτοπλαγκτόν και την υπόλοιπη υδρόβια βλάστηση. Ο θάνατος και η αποικοδόμηση των οργανισμών εμπλουτίζει το νερό με φωσφορικές ενώσεις που καθιζάνουν στον πυθμένα, ενώ παράλληλα συμβαίνει διάχυση του φωσφόρου από το ίζημα στο νερό (εσωτερική τροφοδοσία του νερού της λίμνης σε φώσφορο).

Στα περισσότερα φυσικά νερά οι συγκεντρώσεις του ολικού φωσφόρου (το σύνολο του ανόργανου και οργανικού, διαλυμένου και σωματιδιακού φωσφόρου) κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 10 και 50 μg/l. Ωστόσο σε μη παραγωγικά, oligότροφα νερά η συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου μπορεί να είναι μικρότερη από 5 μg/l, ενώ σε πολύ εύτροφες συνθήκες μπορεί να υπερβαίνει τα 100 μg/l.



Σχήμα:20.2. : Η τυπική διαδικασία ανακύκλωσης του φωσφόρου σε μια λίμνη.

Στις εξωτερικές πηγές φωσφόρου συμπεριλαμβάνονται οι επιφανειακές απορροές, τα λιπάσματα, κτηνοτροφικά απόβλητα, οι εκροές των εγκαταστάσεων επεξεργασίας αστικών λυμάτων, βιομηχανικά απόβλητα κ.ά. Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, η εντατική χρήση λιπασμάτων και απορρυπαντικών έχει αυξήσει τη συγκέντρωση του φωσφόρου στις λίμνες πολλών περιοχών. (<http://kpe-kastor.kas.sch.gr/limnology/limnology/nutrients.htm>).

Θείο

Οι αυτότροφοι οργανισμοί και πολλοί ετερότροφοι μικροοργανισμοί προσλαμβάνουν θείο από τα θειικά ιόντα (SO_4^{2-}) του νερού. Κύρια πηγή των θειικών ιόντων στο νερό των λιμνών είναι το νερό της βροχής. Άλλες πιθανές πηγές θειικών ιόντων είναι ιζηματογενή πετρώματα που περιέχουν θειικό ασβέστιο ή θειικό πυρίτιο.

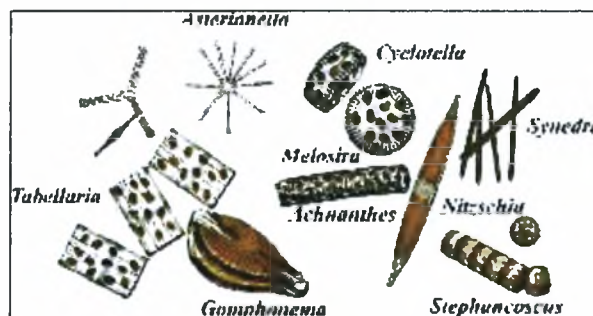
Σε κλειστές λίμνες όπου υπάρχουν αποθέσεις κρυστάλλων θειικού νατρίου η συγκέντρωση των θειικών ιόντων μπορεί να φτάνει τα 60,3g/l.

Στο υπολίμνιο των περισσότερων λιμνών και κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου, η μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου προκαλεί μείωση των πληθυσμών των αερόβιων αποικοδομητικών οργανισμών. Στις παραπάνω συνθήκες η ανοργανοποίηση των οργανικών ουσιών με τη συμμετοχή αναερόβιων βακτηρίων δεν οδηγεί στο σχηματισμό νερού και διοξειδίου του άνθρακα, αλλά ενώσεων όπως το υδρόθειο.

Συμπερασματικά, όσον αφορά την κατακόρυφη κατανομή του θείου, αναμένεται να παρατηρείται αύξηση της σε συνάρτηση με την αύξηση του βάθους. (<http://kpe-kastor.kas.sch.gr/limnology/limnology/nutrients.htm>)

Πυρίτιο

Το πυρίτιο εμφανίζεται συνήθως, ως διαλυτό πυριτικό οξύ και ως σωματιδιακό πυρίτιο, σε επαρκείς συγκεντρώσεις στα εσωτερικά νερά. Το ορθοπυριτικό οξύ ($\text{Si}(\text{OH})_4$) είναι πιθανόν η μόνη ένωση πυριτίου διαθέσιμη στα διάτομα και σε άλλα πλαγκτικά φύκη (παρακάτω εικόνα) .



Στην πλειοψηφία των εύκρατων λιμνών η συγκέντρωση του πυριτίου κυμαίνεται μεταξύ 560 και 5600 $\mu\text{g/l}$. Λίγες είναι οι περιπτώσεις λιμνών στις οποίες το πυρίτιο βρίσκεται σε χαμηλές συγκεντρώσεις σε όλη τη διάρκεια του έτους, ενώ σε αρκετές μπορεί να αποτελέσει περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη των διατόμων μόνο για σύντομες χρονικές περιόδους, μετά από τη βιολογική κατανάλωσή του από τους παραπάνω οργανισμούς.

Μεγάλες συγκεντρώσεις πυριτίου παρατηρούνται κατά τη χειμερινή περίοδο και στην αρχή της άνοιξης, ενώ σταδιακά μειώνονται εξαιτίας της βιολογικής κατανάλωσής τους κατά την εαρινή και τη θερινή περίοδο. Περιορισμένες συγκεντρώσεις πυριτίου παρατηρούνται στην εύρωτη ζώνη των εύτροφων λιμνών, ενώ στις oligότροφες λίμνες παρατηρούνται διαφορές συγκεντρώσεων, ανάμεσα στο υπολίμνιο και στο επιλίμνιο, κατά τη θερμική στρωμάτωση των νερών.

Η τροφοδοσία μιας λίμνης σε πυρίτιο μπορεί να είναι εξωτερική (μέσω εισροών) ή εσωτερική (διάθεση πυριτίου από το ίζημα, αποσύνθεση διατόμων).(<http://kpe-kastor.kas.sch.gr/limnology/limnology/nutrients.htm>).

Ιχνοστοιχεία μετάλλων

Στο νερό των λιμνών υπάρχουν διάφορα μέταλλα τα οποία συμμετέχουν σε μικρές ποσότητες (ιχνοστοιχεία) στις μεταβολικές διεργασίες των οργανισμών.

Το μαγγάνιο βρίσκεται σε ανιχνεύσιμες ποσότητες σε όλα σχεδόν τα επιφανειακά νερά και χρησιμοποιείται από φυτοπλαγκτονικούς οργανισμούς της λίμνης σε ποσότητα που ποικίλει ανάλογα με το είδος του οργανισμού. Αποθέματα μαγγανίου στον πυθμένα που επαναδιαλύονται τροφοδοτούν συνήθως τον υδάτινο όγκο με το συγκεκριμένο μέταλλο. Ως εκ τούτου μεγαλύτερες ποσότητες ιόντων μαγγανίου αναμένεται να παρατηρηθούν στο υπολίμνιο και στο μεταλίμνιο.

Οι συγκεντρώσεις του χαλκού στο νερό των λιμνών κυμαίνονται από πρακτικά μη ανιχνεύσιμα επίπεδα μέχρι μερικές εκατοντάδες mg/m³. Σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης του χαλκού παρατηρείται κατά τη φθινοπωρινή αναστροφή. Η παρουσία υδρόθειου στον πυθμένα δυσχεραίνει τη διάλυση του χαλκού και την απελευθέρωσή του στο υπολίμνιο. Ο εμπλουτισμός του νερού των βαθύτερων στρωμάτων με οξυγόνο προκαλεί την οξείδωση του υδρόθειου στον πυθμένα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο χαλκός ανιχνεύεται σε συγκεντρώσεις τοξικές για την υδρόβια ζωή.

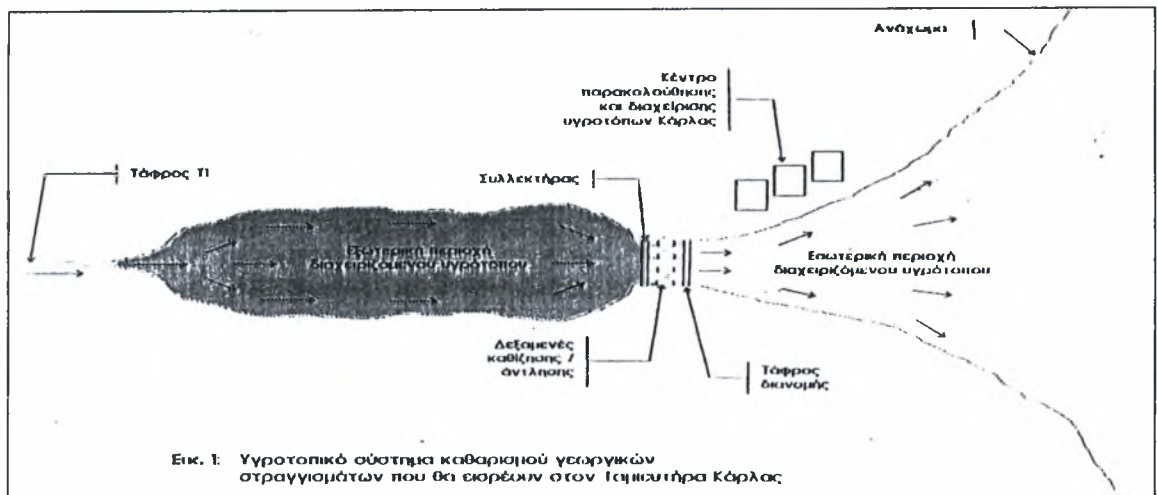
Τέλος στα νερά των λιμνών ανιχνεύονται συχνά και άλλα μέταλλα (σίδηρος, ψευδάργυρος, κοβάλτιο, βόριο, κ.ά.). (<http://kpekastor.kas.sch.gr/limnology/limnology/nutrients.htm>).

21. Σύστημα καθαρισμού εισροών

Στόχος του συστήματος καθαρισμού των εισροών, είναι η διατήρηση της τροφικής κατάστασης της λίμνης σε μεσότροφη. Κατάσταση αποδεκτή και για την λειτουργία του ταμιευτήρα για άρδευση και σαν υδροτόπου, αν και σε ιδανική περίπτωση, ο υδροτόπος θα έπρεπε να είναι oligότροφος έως ελαφρά μεσότροφος. Ωστόσο, ο ταμιευτήρας της Κάρλας θα δέχεται μέρος των γεωργικών στραγγισμάτων με υψηλή περιεκτικότητα σε θρεπτικά άλατα φωσφόρου και αζώτου, από την έκπλυση υδατοδιαλυτών λιπασμάτων. Οι ουσίες αυτές εάν δεν απομακρύνονται πριν την είσοδο τους, θα προκαλέσουν ευτροφισμό, με βλαβερές συνέπειες για την χλωρίδα και την πανίδα του ταμιευτήρα, αλλά και τις άλλες χρήσεις του νερού.

Για την πρόληψη του ευτροφισμού και την διατήρηση ικανοποιητικής ποιότητας νερού κατά την λειτουργία του ταμιευτήρα, απαιτείται η δημιουργία ενός συστήματος καθαρισμού των εισροών από τα φερτά υλικά. Για αυτό το σκοπό, απαιτείται μια ξεχωριστή ολοκληρωμένη διαχειριστική μελέτη. Με βάση τα όσα γνωρίζουμε για το είδος της ρύπανσης του νερού υπάρχει ένας σχεδιασμός του συστήματος καθαρισμού των στραγγισμάτων που εισρέουν στον ταμιευτήρα ο οποίος είναι ο παρακάτω:

- Εξωτερική περιοχή διαχειριζόμενου υγροτόπου.
- Δεξαμενές καθίζησης ιλύος. Στο τέλος της διαδρομής του, μέσα στον υγρότοπο, το νερό θα συγκεντρώνεται σε 4 δεξαμενές για καθίζηση ιλύος. Ο πυθμένας των δεξαμενών θα είναι υδατοστεγής. Οι δεξαμενές θα παρέχουν τις δυνατότητες εναλλακτικής λειτουργίας για παροδική απομάκρυνση της ιλύος, χωρίς διακοπή της ροής και εφαρμογή φυσικών, χημικών και βιολογικών μέτρων πρόληψης του ευτροφισμού.
- Εξωτερική περιοχή διαχειριζόμενου υγροτόπου. Από τις δεξαμενές καθίζησης το νερό θα διοχετεύεται με άντληση σε ένα είδος “δέλτα” πριν την τελική εισροή του στον φυσικό υγρότοπο και τον ταμιευτήρα. Ο δεύτερος αυτός υγρότοπος θα παρέχει τον τελικό καθαρισμό γεωργικών στραγγισμάτων, και θα έχει τις ίδιες δυνατότητες διαχείρισης με τον εξωτερικό υγρότοπο.
- Συστήματα ρύθμισης ροής. Συστήματα συλλογής, διανομής και αυξομείωσης της ροής θα παρεμβάλλονται μεταξύ των κυρίως τμημάτων του συστήματος καθαρισμού, όπως επιβάλλουν οι υδρολογικές ανάγκες διαχείρισης του συστήματος. (Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων και επανορθωτικών μέτρων από την κατασκευή και λειτουργία του ταμιευτήρα Κάρλας και των συναφών έργων , Β΄ φάση , Περιβαλλοντικοί όροι, 1995).



Σχήμα:21.1. : Υγροτοπικό σύστημα καθαρισμού γεωργικών στραγγισμάτων που θα εισρέουν στον ταμιευτήρα της Κάρλας.

22. Τάσεις βελτίωσης στην ποιότητα νερών



Γενικά σταθερή, με τάσεις βελτίωσης, καταδεικνύεται η ποιότητα των νερών της λίμνης Κάρλας, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ελέγχων που διενεργήθηκαν στη διάρκεια του 2010 για λογαριασμό της Νομαρχίας Μαγνησίας.

Σύμφωνα με το σχεδιασμό της Διεύθυνσης Προστασίας Περιβάλλοντος της ΝΑΜ, από το φθινόπωρο του 2009, η ποιότητα των νερών της Κάρλας παρακολουθείται μηνιαίως, με μετρήσεις που διενεργούνται από διαπιστευμένο εργαστήριο.

Σύμφωνα με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μετρήσεων, που έδωσε χθες στη δημοσιότητα η αντινομάρχης Περιβάλλοντος Νατάσα Οικονόμου, διαπιστώνονται τα εξής:

- ✓ Παρατηρείται τάση μείωσης της αγωγιμότητας κατά 35%, και του χρώματος των νερών κατά 50%, των χλωριόντων και του οργανικού φορτίου.
- ✓ Η οξύτητα διατηρείται σταθερή, μέσα στο φυσιολογικό εύρος για τη διαβίωση των ιχθύων, όπως και τα νιτρικά (από 1.0 έως 3.5mg/l)
- ✓ Η αμμωνία, πέραν των ακραίων τιμών που καταγράφηκαν την περίοδο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου 2009, και οφείλονταν, όπως αποδείχτηκε σε φυσικά αίτια, φαίνεται ότι έχει σταθεροποιηθεί σε πολύ χαμηλά επίπεδα (<0,05mg/l), τα οποία δε δημιουργούν τοξικότητα στο υδρόβιο περιβάλλον.
- ✓ Υψηλές συγκεντρώσεις φωσφόρου παρατηρήθηκαν σε δειγματοληψίες που διενεργήθηκαν σε περιόδους βροχόπτωσης, πράγμα που σημαίνει ότι η προέλευση των φωσφορικών αποδίδεται κατά κύριο λόγο σε εκπλύσεις των εδαφών που καταλήγουν στη λίμνη από τις εδαφικές απορροές της περιοχής.

Τέλος, επισημαίνεται ότι η ποσότητα των νερών που καταλήγει στον Παγασητικό είναι μικρή, σε σχέση με τον όγκο και το ρυθμό ανάμειξης – ανανέωσης των νερών και τελικά δεν έχει καταγραφεί, μέχρι τώρα, αισθητή αλλοίωση της συγκέντρωσης του φωσφόρου των νερών στις εκβολές του Παγασητικού.

23. Έλεγχος της ποιότητας του νερού με χημική ανάλυση

23.1 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Η θερμοκρασία του νερού επιδρά άμεσα πάνω σε κάποιους παράγοντες της ποιότητας του νερού, όπως στο διαλυμένο οξυγόνο. Το οξυγόνο είναι ένα αέριο απαραίτητο για τους οργανισμούς που βρίσκονται μέσα στη λίμνη, και έτσι μπορούμε να πούμε ότι η θερμοκρασία επιδρά έμμεσα πάνω στην επιβίωση κάποιων υδρόβιων οργανισμών (δηλαδή φυτών και ζώων που ζουν μέσα στο νερό).

Η θερμοκρασία επηρεάζει επίσης τις λειτουργίες των οργανισμών που ζουν στη λίμνη. Για παράδειγμα επηρεάζει την αναπαραγωγή των ζωντανών οργανισμών. Κάποιοι οργανισμοί μπορούν να αναπαραχθούν σε χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ κάποιοι άλλοι οργανισμοί χρειάζονται ψηλότερες θερμοκρασίες.

Σε διαφορετικά σημεία της λίμνης μπορεί να επικρατεί διαφορετική θερμοκρασία. Το να γνωρίζουμε την θερμοκρασία του νερού στην τοποθεσία ελέγχου, μας βοηθά να προβλέψουμε ή και να επιβεβαιώσουμε άλλες συνθήκες κάτω από τις οποίες βρίσκεται το νερό.

Διαφορά θερμοκρασίας υπάρχει επίσης σε διαφορετικά βάθη. Στο βυθό το νερό είναι πιο κρύο από την επιφάνεια. Σε ψυχρά κλίματα όμως, το χειμώνα πολλές φορές η επιφάνεια του νερού μπορεί να είναι παγωμένη, και οι οργανισμοί που ζουν στο νερό της λίμνης, όπως τα ψάρια, οδηγούνται στο βυθό της λίμνης για να επιβιώσουν.

23.2. Από τι επηρεάζεται η θερμοκρασία

Η θερμοκρασία του νερού επηρεάζεται από την εποχή και την ώρα της μέρας. Επηρεάζεται ακόμα από τη χρήση της γης από τον άνθρωπο. Για παράδειγμα, αν κοπούν τα δέντρα γύρω από μια λίμνη ή ένα ποτάμι, η θερμοκρασία του νερού θα αυξηθεί, λόγω της μείωσης της σκιάς. Εξάλλου, το νερό της βροχής που προτού φτάσει στο ποτάμι, περνά από τις στέγες σπιτιών, ζεσταίνεται πολύ περισσότερο από το νερό που φτάνει στο ποτάμι μόνο από το έδαφος.

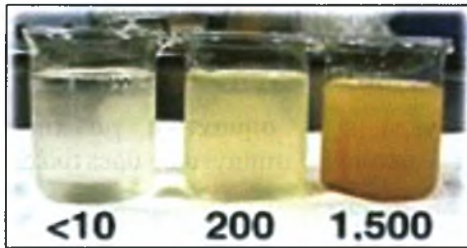
23.3. PH

Το pH υπολογίζει τη σχετική οξύτητα του νερού. Οχήματα των βιομηχανιών εκπέμπουν στο περιβάλλον άζωτο και θείο. Όταν οι εκπομπές αυτές των αερίων συναντηθούν με το αεριοποιημένο νερό στην ατμόσφαιρα, τότε δημιουργούνται τα οξέα. Αυτά τα οξέα μαζεύονται στα σύννεφα και πέφτουν στη γη ως όξινη βροχή ή ως όξινο χιόνι. Έτσι μπορεί να κάνουν τους ποταμούς και τις λίμνες τόσο όξινες που τα ψάρια και άλλοι υδρόβιοι οργανισμοί, να μην μπορούν να επιβιώσουν.

Τα φυσικά νερά έχουν τιμές pH που κυμαίνονται μεταξύ των 4-9 μονάδων, ενώ τιμές 6,5-8,5 είναι στις περισσότερες περιπτώσεις οι καταλληλότερες για τους υδρόβιους οργανισμούς. Το pH μεταξύ 6,5- 7,5 θεωρείται πολύ καλό (είναι ουδέτερο). Το pH μεταξύ 6- 6,4 ή 7,6- 8,0 θεωρείται καλό. Το pH μεταξύ 5,5- 5,9 ή 8,1-8,5 θεωρείται ότι είναι μέτριο. Αν το νερό έχει pH λιγότερο από 5,5 τότε είναι πολύ όξινο και είναι σε ένα επίπεδο όπου τα ψάρια και άλλοι οργανισμοί μπορεί να μην καταφέρουν να επιβιώσουν. Το pH περισσότερο από 8,6 θεωρείται ότι είναι πολύ αλκαλικό, πράγμα όχι και τόσο καλό.

23.4. Η ΔΙΑΥΓΕΙΑ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ

Η διαύγεια του νερού αναφέρεται στο πόσο καθαρό ή θολό είναι το νερό. Καθαρό νερό έχει ψηλά επίπεδα διαύγειας και το λασπόνερο ή το θολό νερό έχει χαμηλά επίπεδα διαύγειας.



Τα υψηλά επίπεδα διαύγειας μπορεί να προκαλούνται λόγω των αιωρούμενων σωματιδίων μέσα στο νερό όπως χώμα, απόβλητα, ίζημα και πλαγκτόν.

(α) Το χώμα μπορεί να διεισδύσει στο νερό λόγω διάβρωσης ή ροής από κοντινή περιοχή.

(β) Το ίζημα προέρχεται από έντονες διεργασίες που γίνονται στο νερό, είτε από τα ψάρια είτε από τον άνθρωπο.

(γ) Τα απόβλητα είναι αποτέλεσμα των εκφορτώσεων των σκουπιδιών και

(δ) τα υψηλά επίπεδα πλαγκτόν προέρχονται από τις υπερβολικές ποσότητες θρεπτικών ουσιών μέσα στο νερό.

23.5. Πώς αυτά επηρεάζουν τους οργανισμούς στη λίμνη

Εάν η θολότητα του νερού είναι υψηλή, τότε θα υπάρχουν πολλά σωματίδια αιωρούμενα στο νερό. Αυτά τα σωματίδια θα μπλοκάρουν την ακτινοβολία και θα εμποδίσουν έτσι τα υδρόβια φυτά από το να καταναλώσουν την απαιτούμενη ακτινοβολία που χρειάζονται για την φωτοσύνθεση. Τα φυτά θα παράγουν λιγότερο οξυγόνο μειώνοντας έτσι τα επίπεδα του DO. Τα φυτά θα πεθαίνουν πιο εύκολα και θα αποσυντίθενται από τα βακτήρια του νερού, τα οποία θα μειώσουν ακόμη πιο πολύ τα επίπεδα του DO.

Τα αιωρούμενα σωματίδια μέσα στο νερό θα απορροφήσουν θερμότητα από την ακτινοβολία του ήλιου με αποτέλεσμα να θερμαίνεται το νερό. Το ζεστό νερό δεν είναι ικανό να κρατήσει τόσο οξυγόνο όσο μπορεί το κρύο νερό με αποτέλεσμα τα επίπεδα του DO θα μειωθούν, κυρίως κοντά στην επιφάνεια του νερού.

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι καταστροφικά για πολλούς υδρόβιους οργανισμούς και μπορούν να φράξουν τα βράχια των ψαριών και να επέμβουν την προσπάθειά τους για εύρεση φαγητού. Ακόμη, μπορούν να θάψουν αβγά και όντα που ζουν στον πάτο. Τέλος, τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να μεταφέρουν ρυπαντικές ουσίες στο νερό.

24. Η ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΤΩΝ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΩΣΦΟΡΙΚΩΝ ΑΛΑΤΩΝ ΣΤΗ ΛΙΜΝΗ

Η μέτρηση των νιτρικών αλάτων στο νερό είναι σημαντική για την διαπίστωση της ποιότητας του νερού. Τα νιτρικά άλατα είναι σημαντικές θρεπτικές ουσίες για τα άλγη και άλλα υδρόβια φυτά.

Η αύξηση των νιτρικών μπορεί να οφείλεται τόσο σε ανθρώπινους όσο και μη ανθρώπινους παράγοντες. Παραδείγματα ανθρώπινων παραγόντων είναι αποχετεύσεις οι οποίες καταλήγουν σε λίμνες, θάλασσες ή ποταμούς, λιπαντικές ουσίες οι οποίες ξεπλένονται με το νερό της βροχής και καταλήγουν στο υδάτινο σώμα, κτλ. Είναι δύσκολο να μετρηθούν με ακρίβεια. Η μέτρηση τους γίνεται σε mg/L.

25. Άνεμος και δύναμη Coriolis

Άνεμος είναι η συστηματική κίνηση του αέρα και προσδιορίζεται από την εντασή του, δηλαδή την ταχύτητά του, και την διεύθυνσή του. Ο ατμοσφαιρικός αέρας μπορεί να κινηθεί και κατακόρυφα αλλά σαν άνεμος θεωρείται μόνο η οριζόντια συνιστώσα της κίνησής του.

Η ταχύτητα του αέρα μετρείται σε μέτρα ανά δευτερόλεπτα (m/s). Όμως ευρύτερα γνωστή είναι η κλίμακα Beaufort που χρησιμοποιείται για να προσδιορίζεται ποιοτικά η ταχύτητα του ανέμου σύμφωνα με την επίδραση του στον κυματισμό της θάλασσας. Το 4 στην κλίμακα Beaufort αντιστοιχεί σε περίπου 4.5 m/s, το 8 σε περίπου 19m/s (θύελλα), ενώ το 12 σε περίπου 33m/s (τυφώνας).

Η κινητήρια δύναμη του ανέμου, δηλαδή η δύναμη που προκαλεί την κίνηση του αέρα, είναι η δύναμη της βαροβαθμίδας. Στην κίνηση του αέρα αντιτίθεται η δύναμη της τριβής με το έδαφος. Η δύναμη αυτή είναι ανάλογη της ταχύτητας του ανέμου.

Επειδή η Γη περιστρέφεται γύρω από το άξονά της και κατά δεύτερο λόγω γύρω από τον Ήλιο, πάνω σε οποιοδήποτε σώμα (στην προκειμένη περίπτωση στον αέρα) που κινείται ως προς την επιφάνεια της Γης ασκείται μια δύναμη που ονομάζεται δύναμη Coriolis (οριζόντια εκτροπική δύναμη).

Η δύναμη Coriolis είναι ανάλογη της ταχύτητας του σώματος και για να γίνει αντιληπτή η επίδρασή αυτής της δύναμης πρέπει το σώμα να διανύσει μεγάλη απόσταση. Αν ένα σώμα κινείται καμπυλόγραμμα στην επιφάνεια της Γης, π.χ. ένας ποταμός, η φυγόκεντρος δύναμη εξαιτίας της καμπυλόγραμμης κίνησης και η δύναμη Coriolis εξαιτίας της περιστροφής της Γης ασκούνται και οι δύο κάθετα στην κίνηση αυτού. Έτσι η φορά της συνισταμένης αυτών καθορίζει ποια πλευρά της κοίτης ενός ποταμού διαβρώνεται περισσότερο. (Νεβεσκιώτης, 2010).

Γενικά η δύναμη Coriolis είναι η μικρότερη σε μέτρο από τη φυγόκεντρο δύναμη στην επιφάνεια της Γης, εξαιτίας της περιστροφής αυτής, κατά ένα παράγοντα της τάξης του:

$$2v/\Omega R=v/(233 \text{ m/s})$$

Το μέτρο της δύναμης Coriolis δίνεται από την σχέση: $F=2*\omega*\sigma\upsilon\nu\varphi$.

όπου: $\omega=7.2921 * 10^{-5} \text{ rad/s}$, η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της Γης.

φ = το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (για την Κάρλα $\varphi=39^{\circ}24'N$)

Με αντικατάσταση βρίσκουμε ότι για την υπό μελέτη περιοχή της λίμνης Κάρλας η δύναμη Coriolis είναι $F=0.000112955$.

26. Μοντέλο Chapra και Reckhow

Το μοντέλο Chapra και Reckhow (1978) βασιζόμενο στο μοντέλο του Vollenweider χρησιμοποιεί στατιστικές μεθόδους για να ποσοτικοποιήσει την αβεβαιότητα στις εκτιμήσεις του κρίσιμου φορτίου φωσφόρου που προκύπτουν από τη σχέση του Vollenweider για δεδομένη λίμνη. Αποτελέσματα της μεθόδου είναι όχι μόνο ο υπολογισμός της συγκέντρωσης του φωσφόρου στη λίμνη, αλλά και λήψη πληροφοριών σχετικά με τη βεβαιότητα ή αβεβαιότητα αυτής της πρόβλεψης, οι οποίες είναι πολύτιμες από διαχειριστική άποψη.

Τα στοιχεία στα οποία βασίστηκαν οι Chapra και Reckhow για την εξαγωγή του μοντέλου, περιλαμβάνουν 117 Βόρειες Εύκρατες λίμνες, οι οποίες ανάλογα με την τροφική τους κατάσταση διακρίνονται σε 30 oligotrophic, 23 mesotrophic, 36 eutrophic και 28 hypertrophic. (Νεβεσκιώτης, 2010).

Η προβλεπόμενη ολική συγκέντρωση φωσφόρου P σε μια λίμνη δίνεται από τη σχέση:

$$P=Pi/(1+\tau_w^{0.5})$$

όπου: Pi, η μέση συγκέντρωση ολικού φωσφόρου στις εισροές (mg ολικού P/m³)

τ_w , ο χρόνος παραμονής του νερού στη λίμνη, ο οποίος εξορισμού ισούται με το πηλίκο του μέσου βάθους z της λίμνης προς την κατάκλιση q_s ($\tau_w=z/q_s$).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ

27. Εισαγωγή στον κώδικα της εργασίας OpenFoam

Στην παρούσα εργασία έγινε προσομοίωση της ροής της λίμνης Κάρλας με την χρήση του προγράμματος OpenFoam. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα που χρησιμοποιείται στην διδασκαλία και την έρευνα για τους υδραυλικούς υπολογισμούς σε υδάτινους αποδέκτες, όπως είναι τα ποτάμια και οι λίμνες.

Το OpenFOAM είναι ένα ανοιχτό πακέτο λογισμικού, ανεπτυγμένο από την OpenCFD, με δυνατότητα επίλυσης διαφόρων επιστημονικών προβλημάτων (μεταφοράς θερμότητας, μεταφοράς μάζας, ηλεκτρομαγνητικά κλπ), δίνοντας πολλές δυνατότητες και ελευθερία στο χρήστη. Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιείται για την επίλυση των εξισώσεων Navier-Stokes για τυρβώδη ροή, παρέχοντας επιπλέον δυνατότητες δημιουργίας υπολογιστικού πλέγματος, πληθώρα μοντέλων τύρβης αλλά και συμπεριλαμβανομένου λογισμικού για την απεικόνιση της λύσης σε 3D. Η χρήση του OpenFOAM είναι ελεύθερη για τον οποιονδήποτε, καθώς παρέχεται και μπορεί να ληφθεί ελεύθερα από το διαδίκτυο (<http://www.openfoam.com/>). Μάλιστα, είναι λογισμικό ανοιχτού πηγαίου κώδικα, δηλαδή ο χρήστης έχει πρόσβαση στον πηγαίο κώδικα ολόκληρου του λογισμικού που είναι γραμμένος σε C++. Με τον τρόπο αυτό είναι αρχικά σε θέση, αν το επιθυμεί, να γνωρίζει με λεπτομέρειες όλες τις ενέργειες που γίνονται από τον κώδικα κατά την εκτέλεσή του. Επίσης δίνεται η δυνατότητα παρέμβασης στον κώδικα και πραγματοποίησης πιθανών επιθυμητών αλλαγών (λ.χ. πρόσθεση επιπλέον όρων σε εξισώσεις που επιλύονται ή ακόμα και δημιουργία νέων, αλλαγές όρων πηγής στο χρησιμοποιούμενο μοντέλο τύρβης κλπ).

Επίσης σημειώνεται, ότι η χρήση του OpenFOAM δε γίνεται μέσω κάποιου γραφικού περιβάλλοντος για το χρήστη αλλά αποκλειστικά δίνοντας τιμές σε μεταβλητές μέσω αρχείων ελέγχου, που είναι ουσιαστικά αρχεία κειμένου, και στη συνέχεια εκτελώντας χειροκίνητα τον κάθε κώδικα.

Αρχικά καταστρώθηκε το πρόβλημα και εισήχθησαν τα δεδομένα όπως:

(α) ένα απλό πλέγμα το οποίο αποτελείται από εξάεδρα και καταλαμβάνει ολόκληρο το επιθυμητό υπολογιστικό χωρίο (που εύκολα κατασκευάζεται και με ένα άλλο εργαλείο του OpenFOAM, το BlockMesh),

(β) η γεωμετρία του σώματος σε μορφή αρχείου STL και

(γ) ένα αρχείο ρυθμίσεων που ελέγχει τη διαδικασία δημιουργίας του πλέγματος.

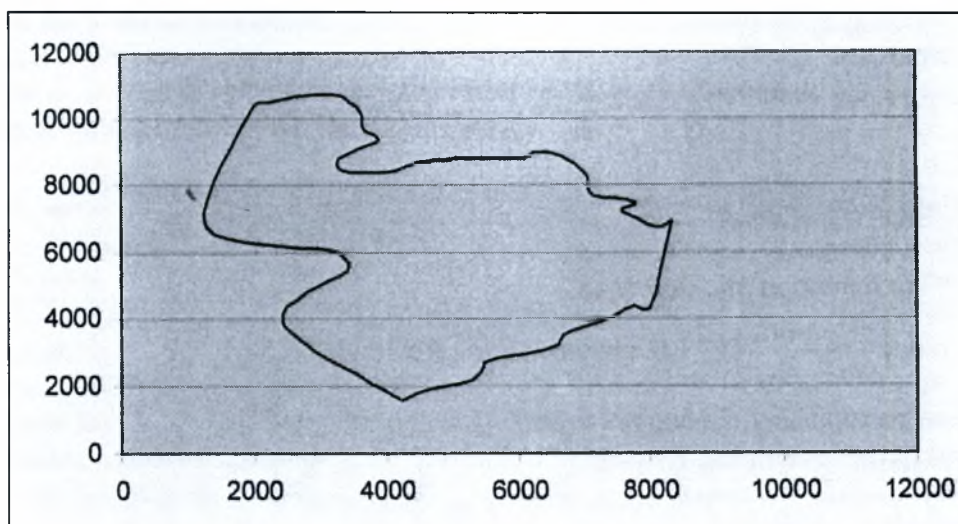
Στην συνέχεια έγιναν παράλληλοι υπολογισμοί. Η χρονική ολοκλήρωση των τρισδιάστατων εξισώσεων της ροής είχε μεγάλη διάρκεια. Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα ParaView. Έτσι μας δόθηκε η δυνατότητα να αξιολογήσουμε τα αποτελέσματα και στην συνέχεια να τα συγκρίνουμε.

28. Προσομοίωση – κατάστρωση του προβλήματος

Για την ανάγκη των υπολογισμών στη λίμνη της Κάρλας, όπως αναφέρθηκε, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα OpenFoam. Το βάθος ροής της λίμνης ορίστηκε ίσο με 3 μέτρα.

Σημεία	x	y
0	2419	3876
1	4157	1660
2	1291	6777
3	3118	6035
4	3418	5681
5	6690	3521
6	1800	8700
7	3345	8396
8	4733	8687
9	8322	6857
10	2005	10378
11	3629	10153
12	2418	3874
13	4155	1659
14	1291	6774
15	3116	6032
16	3416	5678
17	6687	3519
18	1799	8696
19	3343	8392
20	4731	8683
21	8318	6854
22	2004	10373
23	3627	10148

Πίνακας:28.1. : Συντεταγμένες κορυφών της λίμνης μετά από τροποποίηση



Σχήμα:28.2. : Γράφημα του περιγράμματος της λίμνης.

Η επίλυση της ροής έγινε με βάση τις εξισώσεις Navier – Stokes για ασυμπίεστη ροή και σταθερή πυκνότητα:

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \cdot \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial}{\partial x_j} \cdot (-P \delta_{ij} - \overline{\rho u_i u_j})$$

όπου:

ρ : είναι η πυκνότητα του νερού,

P : είναι η πίεση,

U : είναι το διάνυσμα της ταχύτητας,

$$\boxed{-\overline{u_i u_j} = \nu_T \cdot \left(\frac{\partial U_j}{\partial x_i} + \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right) + \frac{2}{3} \cdot k \delta_{ij}}$$

είναι οι τάσεις Reynolds,

ν_T : είναι το τυρβώδες ιξώδες του νερού,

δ_{ij} : είναι η συνάρτηση του Kroneker.

Για την μοντελοποίηση της τύρβης χρησιμοποιήθηκε η προσέγγιση Boussinesq. Το τυρβώδες ιξώδες υπολογίστηκε με βάση το γνωστό μοντέλο k-ε με την επίλυση των δύο επιπλέον εξισώσεων της κινητικής ενέργειας της τύρβης, k, και του ρυθμού σκέδασης, ε.

Ο άνεμος είναι η κινητήρια δύναμη για την δημιουργία ρευμάτων στη λίμνη. Η δύναμη που ασκεί ο άνεμος στην επιφάνεια της λίμνης, υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση ως συνάρτηση της ταχύτητάς του,

$$\boxed{\tau = c \rho_{air} U_{air}^2}$$

όπου,

$c = 1.1 \cdot 10^{-3}$ είναι ο συντελεστής τριβής και

ρ_{air} : είναι η πυκνότητα του αέρα.

29. Εξισώσεις

Οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται στο πρόγραμμα είναι οι παρακάτω:

- Εξισώσεις συνέχειας Navier-Stokes για ασυμπίεστη ροή και σταθερή πυκνότητα:

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \cdot \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial}{\partial x_j} \cdot (-P \delta_{ij} - \overline{\rho u_i u_j})$$

όπου, P είναι η πίεση, U_i είναι το διάνυσμα της μέσης χρονικά ταχύτητας.

Το αριστερό μέλος της εξίσωσης είναι το μεταβλητό μέρος. Ο επόμενος όρος είναι συντηρητικός. Ο πρώτος όρος του δεξιού μέλους είναι ο όρος της πίεσης, ενώ ο δεύτερος όρος συμπεριλαμβάνει τον αριθμό Reynolds.

- Τα μοντέλα τύρβης και η προσέγγιση Boussinesq

$$-\overline{u_i u_j} = \nu_T \cdot \left(\frac{\partial U_j}{\partial x_i} + \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right) + \frac{2}{3} \cdot k \delta_{ij}$$

29.1. Αριθμητικά μοντέλα

- Μοντέλο k-ε

Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο υποθέτουμε στο πρόβλημά μας eddy-viscosity.

$$\nu_T = c_\mu \frac{k}{\varepsilon^2}, \quad k \equiv \frac{1}{2} \overline{u_j u_j}$$

και υπολογίζει κινητική ενέργεια, παραγωγή και σκέδαση

$$\frac{\partial k}{\partial t} + U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\nu_T}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + P_k - \varepsilon,$$

$$P_k = \nu_T \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \left(\frac{\partial U_j}{\partial x_i} + \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + U_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_T}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} P_k + C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k}$$

- Μοντέλο k-ω

Το μοντέλο k-ω υπακούει στις παρακάτω εξισώσεις:

$$v_T = \frac{k}{\omega} \quad \text{Wilcox(2000)}$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\sigma v_T \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + P_k - \beta k \omega$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + U_j \frac{\partial \omega}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\sigma v_T \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + \alpha \frac{\omega}{k} P_k - \beta k \omega$$

όπου σ , α , β οι σταθερές του μοντέλου.

Το μοντέλο k-ω δίνει συχνά λιγότερη τύρβη διάχυσης απ' ό τι το μοντέλο k-ε. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να κάνει υπέρθεση όσο αφορά στην πρόβλεψη του μεγέθους των ζωνών επανακυκλοφορίας, όπου το μοντέλο k-ε κάνει υπέρθεση του μήκους των ζωνών επανακυκλοφορίας. Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί το μοντέλο k-ε.

29. 2 Υπολογισμός θερμοκρασίας

Η θερμοκρασία υπολογίζεται όπως όλα τα συστατικά ποιότητας νερού. Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας εντοπίζονται στο επιφανειακό στρώμα, ενώ σε βάθη μεγαλύτερα από 200 μέτρα εμφανίζεται θερμοκρασιακή ομοιομορφία, χαρακτηριστική για κάθε υδατική λεκάνη. Η θερμοκρασία επηρεάζει τους υδρόβιους πληθυσμούς. Άλλα φυσικά χαρακτηριστικά είναι η πυκνότητα, το χρώμα, η διαύγεια, η απορρόφηση ηλιακού φωτός.

Η θερμοκρασία υπολογίζεται όπως όλα τα συστατικά ποιότητας νερού από τον παρακάτω τύπο:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + U_j \frac{\partial T}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_T \frac{\partial T}{\partial x_j} \right)$$

29.3 Φυτοπλαγκτόν

Το φυτοπλαγκτόν χαρακτηρίζει το σύνολο των αλγών χωρίς διακρίσεις κατά κατηγορίες και εκφράζεται σε όρους χλωροφύλλης. Η μεταβολή της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης εξαρτάται κυρίως από τους μηχανισμούς της ανάπτυξης, της ενδογενούς αναπνοής, του θανάτου και της καθίζησης.

Η ταχύτητα ανάπτυξης του φυτοπλαγκτόν εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την ηλιακή ακτινοβολία και τα θρεπτικά συστατικά N, P. Μια πολλαπλή σχέση Monod (Ανδρεαδάκης Α.) είναι η συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη για την περιγραφή της επίδρασης των θρεπτικών συστατικών.

$$\mu = \mu_{\max} f(T) \frac{N}{K_N + N} \frac{P}{K_P + P}$$

Η επίδραση της θερμοκρασίας περιγράφεται από τη σχέση :

$$\mu_{\max(T)} = \mu_{\max(20)} A_1^{(T-20)}$$

όπου:

$\mu_{\max(T)}$ = μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης σε T °C(day⁻¹)

$\mu_{\max(20)}$ = μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης σε 20 °C(day⁻¹)

A_1 = θερμοκρασιακός συντελεστής (αδιάστατος)

T = θερμοκρασία (°C)

Η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στο ρυθμό της φωτοσύνθεσης είναι άμεση. Αύξηση της έντασης της ακτινοβολίας που δέχονται τα κύτταρα προκαλεί εντονότερα φαινόμενα φωτοσύνθεσης και αντίστροφα, ελάττωση της έντασης της ακτινοβολίας προκαλεί αναστολή της φωτοσύνθεσης.

Προσεκτική παρατήρηση της συμπεριφοράς των κυττάρων στις διακυμάνσεις της ακτινοβολίας έχει οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι η αύξηση της έντασης της ακτινοβολίας πέραν κάποιας τιμής, έστω I_s , έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των ρυθμών φωτοσύνθεσης λόγω αναχαίτισης. Η αναχαίτιση αυτή οφείλεται κυρίως σε

καταστροφές στη δομή του παραλήπτη της ακτινοβολίας, δηλαδή της χλωροφύλλης, λόγω της μεγάλης έντασης ακτινοβολίας που δέχεται.

Η ακτινοβολία I την οποία δέχονται τα άλγη είναι μικρότερη από την ακτινοβολία I_0 που προσπίπτει στην επιφάνεια, λόγω της μείωσης της κατά τη δίοδο της από την υδάτινη μάζα. Η ακτινοβολία σε βάθος, H , σχετίζεται με την ακτινοβολία στην επιφάνεια, I_0 , μέσω της σχέσης:

$$I_H = I_0 e^{-KH}$$

όπου: H το βάθος (m)

K = συντελεστής απορρόφησης ακτινοβολίας (m^{-1})

Η σταθερά απόσβεσης K μπορεί να αναλυθεί σε δύο συνιστώσες:

$$K = K_w + K_A$$

όπου:

K_w = η σταθερά απόσβεσης λόγω του νερού και των αιωρούμενων σ' αυτό στερεών (m^{-1})

K_A = η σταθερά απόσβεσης που οφείλεται στη συγκέντρωση της χλωροφύλλης ($1/mg/m$)

Για να περιγραφεί η ταχύτητα ανάπτυξης του φυτοπλαγκτόν που βρίσκεται σε ένα στρώμα νερού βάθους H , είναι απαραίτητη η ολοκλήρωση της σχέσης $I_H = I_0 e^{-KH}$ ως προς το βάθος (μεταβαλλόμενο I). Από την ολοκλήρωση προκύπτει η σχέση:

$$\mu = \mu_{\max} \frac{e}{KH} (e^{a_1} - e^{a_0})$$

όπου:

$$a_1 = -\frac{I_0}{I_s} e^{-KH}$$

Με βάση τα παρακάτω, η σχέση $\mu = \mu_{\max} f(T) \frac{N}{K_N + N} \frac{P}{K_P + P}$, γράφεται:

$$\mu = \mu_{\max(20)} A_1^{(T-20)} \frac{e}{HK} (e^{a_1} - e^{a_0}) \frac{N}{K_N + N} \frac{P}{K_P + P}$$

Η μείωση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης θεωρείται ότι επέρχεται με τρεις μηχανισμούς: την ενδογενή αναπνοή, τον θάνατο και την καθίζηση.

Η ταχύτητα ενδογενούς αναπνοής αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Τόσο εκθετικές όσο και γραμμικές σχέσεις έχουν χρησιμοποιηθεί για την περιγραφή αυτής της εξάρτησης (Ανδρεαδάκης Α.) . Η σχέση που εφαρμόστηκε έχει τη μορφή:

$$R_A = R_{A0} + A_{2T}$$

Η ταχύτητα θανάτου εξαρτάται και αυτή από τη θερμοκρασία. Η εκθετική σχέση που εφαρμόστηκε έχει τη μορφή:

$$K_{da} = K_{da(20)} A_3^{(T-20)}$$

Οι απώλειες του φυτοπλαγκτόν λόγω καθίζησης περιγράφονται με τη βοήθεια του συντελεστή K_{SA} , ο οποίος αποδεικνύεται ότι συσχετίζεται με την ταχύτητα καθίζησης, με τη βοήθεια της σχέσης:

$$K_{SA} = V_A / H$$

όπου: V_A = ταχύτητα καθίζησης φυτοπλαγκτόν (m/day)

$$H = \text{βάθος (m)}$$

Η συνολική δίαιτα του οργανικού φωσφόρου λόγω βιολογικών διεργασιών περιγράφεται από τη σχέση:

$$r_A = \mu A - K_{da} A + R_A A - K_{SA} A$$

29.4. Άλγη

Η άλγη έχει δύο χαρακτηριστικά που χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή στη μοντελοποίηση. Το πρώτο χαρακτηριστικό είναι η διαδικασία της ανάπτυξης. Αυτό συχνά εξαρτάται από το φως και τις θρεπτικές ουσίες. Αυτές οι θρεπτικές ουσίες συχνά είναι ο φώσφορος, αλλά και το άζωτο και το πυρίτιο μπορεί να είναι επίσης σημαντικά για μερικά είδη άλγης.

Το άλλο κύριο χαρακτηριστικό μοντελοποίησης της άλγης είναι η ταχύτητα πτώσης / ανόδου της. Αυτό συμβαίνει λόγω αλλαγών στην άνωση. Η άνωση συχνά εξαρτάται και από άλλες παραμέτρους, για παράδειγμα από την ακτινοβολία.

Για διαφορετικά είδη άλγης υπάρχει ένας αριθμός ειδικών συνόλων δεδομένων. Μερικά από αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν συνδυαστικά. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με άλλα σύνολα δεδομένων για την ποιότητα του νερού.

Ο υπολογισμός της χωρικής κατανομής της άλγης περιλαμβάνει μοντελοποίηση της αλγικής κάθετης ταχύτητας ανόδου / πτώσης. Η ταχύτητα ανόδου / πτώσης εξαρτάται από την αλγική πυκνότητα, την αλγική διάμετρο και έναν παράγοντα. Η αλγική πυκνότητα εξαρτάται από την ακτινοβολία και την εξάλειψη φωτός στο σώμα νερού. (Νεβερσκιώτης Θ. Χαρίσιος, 2010).

Για την κατανομή χρησιμοποιείται ο ακόλουθος τύπος:

$$f = \sum e^{-k_e c_a \Delta z}$$

όπου, c_a είναι η συγκέντρωση της άλγης και z είναι το κάθετο μέγεθος ενός κελιού. Ο ειδικός συντελεστής μεταφοράς φωτός, k_e , δίνεται από τον Bindloss (1976) :

$$k_e = ac_a + b$$

όπου, a και b είναι οι σταθερές ενός προγενέστερου τύπου που βασίζεται σε μετρήσεις σε λίμνη.

Η πυκνότητα της άλγης υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση των Kromkamp και Walsby (1990) :

$$\rho_{a,1} = \rho_{a,0} + \Delta t \left(k_1 \frac{I}{I + K} - k_2 I_{24} - k_3 \right)$$

όπου, ρ_a είναι η πυκνότητα της άλγης, t είναι ο χρόνος και k_1 , k_2 , k_3 , K , είναι σταθερές. I_{24} είναι μέση ένταση ακτινοβολίας τις τελευταίες 24 ώρες. Χρησιμοποιούνται οι συντελεστές των Kromkamp και Walsby (1990). Η ταχύτητα ανόδου / πτώσης, w , της άλγης υπολογίζεται από την εξίσωση Stoke :

$$w = d^2 g \frac{P_w - P_a}{18 C_d P_w \nu}$$

όπου ρ_a και ρ_w είναι η πυκνότητα της άλγης και του νερού αντίστοιχα, c_d ο συντελεστής έλξης, g η επιτάχυνση της βαρύτητας και ν είναι το κινηματικό ιξώδες νερού, που υπολογίζεται ως εξής:

$$\nu = 10^{-6} e^{0.55234 - 0.026668T}$$

όπου T είναι η θερμοκρασία σε βαθμούς $^{\circ}\text{C}$.

Η ανάπτυξη της άλγης βασίζεται στην εξάλειψη φωτός και σε μια χρονοσειρά της έντασης της ακτινοβολίας, I . Δεδομένης της ακτινοβολίας, το ποσοστό αύξησης, k , υπολογίζεται από:

$$k = a(1 - e^{-\frac{I}{b}})$$

Οι παράμετροι a και b είναι σταθερές, που προέρχονται από μια προϋπάρχουσα ανάλυση των παρατηρηθεισών τιμών (Reynolds, 1976). Η ανάπτυξη υπολογίζεται ως:

$$c_a = c_{a,0} e^{kt}$$

όπου, c_a είναι η συγκέντρωση της άλγης σε χρόνο t και $c_{a,0}$ η συγκέντρωση σε χρόνο $t-1$.

29.5 Φώσφορος

Το μοντέλο των Chapra και Reckhow (1978) βασιζόμενο στο μοντέλο του Vollenweider χρησιμοποιεί στατιστικές μεθόδους για να ποσοτικοποιήσει την αβεβαιότητα στις εκτιμήσεις του κρίσιμου φορτίου φωσφόρου που προκύπτουν από τη σχέση του Vollenweider για δεδομένη λίμνη. Αποτελέσματα της μεθόδου είναι όχι μόνο ο υπολογισμός της συγκέντρωσης του φωσφόρου στη λίμνη, αλλά και λήψη πληροφοριών σχετικά με τη βεβαιότητα ή αβεβαιότητα αυτής της πρόβλεψης, οι οποίες είναι πολύτιμες από διαχειριστική άποψη.

Η προβλεπόμενη ολική συγκέντρωση φωσφόρου P σε μια λίμνη δίνεται από τη σχέση:

$$P = P_i / (1 + \tau_w^{0.5})$$

όπου: P_i , η μέση συγκέντρωση ολικού φωσφόρου στις εισροές (mg ολικού P/m^3)

τ_w , ο χρόνος παραμονής του νερού στη λίμνη, ο οποίος εξ ορισμού ισούται με το πηλίκο του μέσου βάθους z της λίμνης προς την κατάκλιση q_s ($\tau_w = z/q_s$).

29.6 Άζωτο

Το άζωτο στο νερό βρίσκεται συνήθως συγκεντρωμένο σε οργανικό υλικό. Το υλικό αποσυντίθεται σε μια διαδικασία που οδηγεί στο σχηματισμό αμμωνίου (NH_4^+). Το αμμώνιο μπορεί να αντιδράσει με το διαλυμένο οξυγόνο σε μια διαδικασία νιτροποίησης από το νιτρώδες άλας (NO_2^-).

Η διαδικασία νιτροποίησης χρησιμοποιεί το οξυγόνο. Εάν δεν συμβεί αυτό ή υπάρχουν μικρές ποσότητες διαλυμένου οξυγόνου, μια διαδικασία διάσπασης νιτρικών αλάτων μπορεί να πραγματοποιηθεί. Το νιτρικό άλας μετασχηματίζεται έπειτα σε νιτρώδες άλας και σε άζωτο με αεριώδη μορφή. Το αέριο αζώτου μπορεί να εκλυθεί στην ατμόσφαιρα.

Υπάρχουν διάφορες επιπτώσεις της διαδικασίας αυτής στην ποιότητα νερού. Εάν το άζωτο είναι η τροφή για την οργανική αύξηση, τότε μπορεί να προκαλέσει την αύξηση του ευτροφισμού.

Οι διαδικασίες αζώτου μπορούν να διαμορφωθούν από τις εξισώσεις που δίνονται παρακάτω (Nils Reidar B. Olsen) :

$$\frac{d}{dt}(N_o) = -k_{o \rightarrow a} N_o$$

$$\frac{d}{dt}(N_a) = k_{o \rightarrow a} N_o - k_{a \rightarrow i} N_a$$

$$\frac{d}{dt}(N_i) = k_{a \rightarrow i} N_a - k_{i \rightarrow n} N_i$$

$$\frac{d}{dt}(N_n) = k_{i \rightarrow n} N_i$$

29.7. Φως

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας αφού αποτελεί την κύρια πηγή θερμότητας και συνδέεται με τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα των αυτότροφων οργανισμών για την παραγωγή οργανικής ύλης.

Η ένταση του φωτός που δέχεται στιγμιαία κάθε φυτοπλαγκτονικός οργανισμός εξαρτάται από τη θέση του μέσα στην υδάτινη στήλη και την κατανομή του φωτός στο νερό. Όσο πιο βαθιά μπορεί να διεισδύσει το φως στο νερό, τόσο πιο βαθιά μπορούν να αναπτυχθούν φωτοσυνθετικές δραστηριότητες.

Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια μιας λίμνης εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και μήκος της περιοχής, την εποχή και την ώρα της ημέρας αλλά και τις ατμοσφαιρικές και μετεωρολογικές συνθήκες. Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που εισχωρεί στη λίμνη ελαττώνεται με την αύξηση του βάθους της. Το ίδιο το νερό, οι διαλυμένες σε αυτό ουσίες και τα αιωρούμενα σωματίδια διαθλούν και απορροφούν το φως και μειώνουν την έντασή του.

Καθώς διαδίδεται η ηλιακή ακτινοβολία στο νερό, η έντασή της μειώνεται επίσης εξαιτίας της μετατροπής της σε θερμότητα. Σε βάθος ενός μέτρου το 53% της συνολικής φωτεινής ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα (Rutner,1963). Αναφέρεται ότι μέσα στο νερό η φωτεινή ενέργεια που χρειάζεται για τη φωτοσύνθεση θα πρέπει ν' αντιστοιχεί στο 1% του φωτός που προσπίπτει στην επιφάνεια του νερού. Υπάρχουν βέβαια και περιπτώσεις όπου η φωτοσύνθεση είναι δυνατή και όταν η ένταση του φωτός είναι κάτω από το 1% αυτής που προσπίπτει στην επιφάνεια του νερού.

Η ροή θερμότητας στην επιφάνεια του νερού σύμφωνα με τον Chapra (1997) υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$I = I_r B + \sigma (T_{air} + 273)^4 (A + 0.031 \sqrt{e_{air}}) (1 - R_L) - \epsilon \sigma (T_s + 273)^4 - c l f(U_w)(T_s - T_{air}) - f(U_w)(e_s - e_a)$$

όπου:

I_r : η ακτινοβολία

T : η θερμοκρασία

s : η σταθερά Stefan-Boltzmann

fU_w : η ταχύτητα του ανέμου (Chapra 1997).

Δίνεται από τον τύπο:

$$f(U_w) = 19 + 0.95 U_w^2$$

όπου: U_w : η ταχύτητα του αέρα σε ύψος 7m.

e_s : ο κορεσμός της πίεσης του ατμού στην επιφάνεια του νερού

B : παράγοντας πολ/σμού για την ακτινοβολία (π.χ. 1,0)

A : συντελεστής για την εξασθένηση του φωτός (π.χ. 0,5 – 0,7)

e_{air} : πίεση του αέρα (mmHg). Δίνεται από τον τύπο:

$$e_{air} = 4.596 e^{\frac{17.27 T_d}{237.3 + T_d}}$$

όπου: T_d : θερμοκρασία

R_L : συντελεστής ανάκλασης (π.χ. 0,03)

cl : συντελεστής Bowen (0.47 mmHg/ °C)

29.8 Κυανοβακτήρια

Ο Kromkamp και ο Walsby (1990) μέτρησαν το ρυθμό μεταβολής της πυκνότητας dp/dt , για το κυανοβακτήριο 0. Διαπίστωσαν ότι η εξάρτηση dp/dt στην ακτινοβολία, I , προσεγγιστικά ταίριαζε με την εξίσωση των Michaelis – Menten (http://en.wikipedia.org/wiki/Michaelis%E2%80%93Menten_kinetics) :

$$\frac{dp}{dt} = \frac{c_1 I}{K_i + I} - c_3$$

Η σταθερά c_3 είναι ένα ποσοστό μείωσης της πυκνότητας λόγω του μεταβολισμού του υδατάνθρακα. Ο πρώτος όρος στο δεξιό μέλος της εξίσωσης δείχνει το ποσοστό αύξησης στην κατάληξη πυκνότητας από τη συσσώρευση του υδατάνθρακα, που παράχθηκε από τη φωτοσύνθεση.

Στα μεγάλα irradiances το ποσοστό μεταβολής της πυκνότητας ασυμπτωτικά πλησιάζει μια σταθερή τιμή $c_1 - c_3$. Το K είναι η ακτινοβολία. Οι Kromkamp και Walsby βρήκαν $c_1 = 0.132 \text{ kg m}^{-3} \text{ min}^{-1}$, $c_3 = 2.3 \cdot 10^{-2} \text{ kg m}^{-3} \text{ min}^{-1}$ και $K_i = 25 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ από τις εργαστηριακές μετρήσεις.

Οι αποικίες των κυανοβακτηρίων είναι μικρές και έχουν μικρούς αριθμούς Reynolds. Μακριά από την επιφάνεια και το κατώτερο σημείο του ύδατος η ταχύτητα βύθισης είναι ίση με το ρυθμό μεταβολής του βάθους των αποικιών:

$$v = \frac{dz}{dt}$$

Σύμφωνα με τον νόμο του Stokes, το z είναι θετικό στην προς τα κάτω κατεύθυνση.

Η πυκνότητα υπολογίστηκε σύμφωνα με την μέθοδο των Kromkamp και Walsby από τον παρακάτω τύπο :

$$pc_{f1} = pc_{f0} + \left\{ c_1 \left[\frac{I_z}{K_I + I_z} \right] \right\} - c_2 I_P - c_3$$

όπου , το pc_{f1} είναι η πυκνότητα $t=1$, το pc_{f0} είναι η πυκνότητα $t=0$, το c_1 είναι το ποσοστό σταθερής μείωσης της πυκνότητας ($0.132 \text{ kg m}^{-3} \text{ min}^{-1}$), το c_3 είναι το ελάχιστο ποσοστό αύξησης πυκνότητας ($1.67 \cdot 10^{-5} \text{ kg m}^{-3} \text{ min}^{-1}$), K_I είναι η ακτινοβολία για ένα μέγιστο ποσοστό αύξησης της πυκνότητας ($25 \text{ micromol m}^2 \text{ s}^{-1}$), I_z είναι η ακτινοβολία σε βάθος z και η I_P είναι η μέση ακτινοβολία της προηγούμενης μέρας. Σύμφωνα με αυτή την εξίσωση, η πυκνότητα των κυττάρων εξαρτάται από την ισορροπία μεταξύ του ποσοστού αύξησης υδατανθράκων λόγω της φωτοσύνθεσης (c_1), και του ποσοστού μείωσης υδατανθράκων λόγω της αναπνοής (c_2 και c_3).

Η ακτινοβολία υπολογίστηκε ως συνάρτηση του βάθους χρησιμοποιώντας το νόμο των Beer-Lambert:

$$I_z = I_0 e^{-\alpha z}$$

όπου, I_0 είναι η ένταση της ακτινοβολίας σε βάθος z .

30. Δομή του προγράμματος OpenFoam

Η δομή του προγράμματος OpenFoam φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

Αρχείο *constant directory*: το αρχείο αυτό περιλαμβάνει μια πλήρη περιγραφή του πλέγματος στο αρχείο *polyMesh* και τα αρχεία που διευκρινίζουν τις φυσικές ιδιότητες όπως για παράδειγμα το αρχείο *transportProperties*.

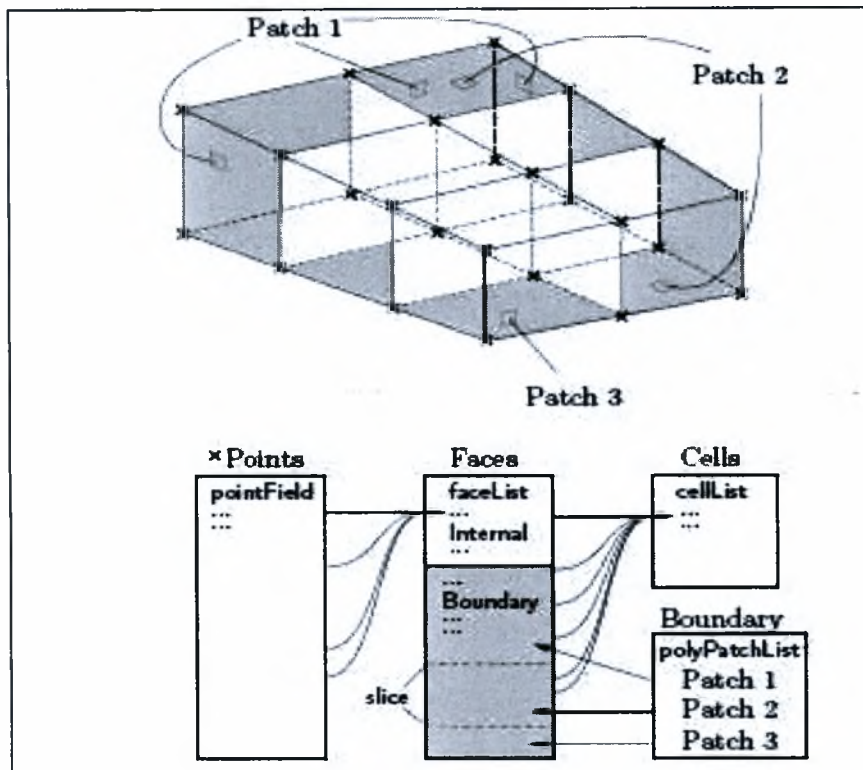
Αρχείο *system directory*: το αρχείο αυτό περιλαμβάνει 3 υποφακέλους: τον φάκελο *controlDict* όπου δίνονται οι χρόνοι *startTime* και *endTime* για να τρέξει το πρόγραμμα όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Τον φάκελο *fvSchemes*, όπου τα καθεστώτα διακριτοποίησης που χρησιμοποιούνται στη λύση μπορούν να επιλεγθούν στο χρόνο εκτέλεσης και το αρχείο *fvSolution* όπου οι λύσεις της εξίσωσης και άλλοι έλεγχοι του αλγορίθμου τίθενται για το τρέξιμο.

Αρχείο *time directories*: τα στοιχεία του αρχείου αυτού μπορεί να είναι οι αρχικές τιμές, οι συνοριακές συνθήκες τις οποίες ο χρήστης πρέπει να διευκρινίσει για να καθορίσει το πρόβλημα ή τα αποτελέσματα που γράφονται στο αρχείο από το OpenFoam.

30.1. Δημιουργία πλέγματος

Το OpenFOAM λειτουργεί πάντα σε ένα τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα και όλη η γεωμετρία ολοκληρώνεται σε 3 διαστάσεις. Το OpenFOAM λύνει την περίπτωση σε 3 διαστάσεις εξ ορισμού αλλά μπορεί να καθοδηγηθεί για να λύσει και σε 2 διαστάσεις.

Υπάρχουν διαφορετικά επίπεδα περιγραφής πλέγματος στο OpenFOAM, αρχίζοντας με την πιο βασική κατηγορία πλέγματος, που ονομάζεται *polyMesh* δεδομένου ότι είναι βασισμένο σε πολύεδρα. Ένα πλέγμα κατασκευάζεται χρησιμοποιώντας τις ελάχιστες πληροφορίες που απαιτούνται για να καθορίσουν τη γεωμετρία του πλέγματος που περιγράφεται κατωτέρω και που παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα:30.1.1 : Σχηματική περιγραφή του βασικού πλέγματος που χρησιμοποιείται στο OpenFOAM

Σημεία Μια λίστα σημείων συντεταγμένων

Επιφάνειες Μια λίστα από επιφάνειες, όπου η κατηγορία επιφανειών καθορίζεται από έναν κατάλογο από αριθμούς, που αντιστοιχούν στα σημεία του πεδίου

Κελιά Μια λίστα από κελιά, όπου η κατηγορία των κελιών καθορίζεται από έναν αριθμό επιφανών, που αντιστοιχούν στις επιφάνειες που περιγράφονται προηγουμένως.

Περιοχές ορίων. Το όριο υποδιαιρείται σε διάφορες επιφάνειες για να επιτρέψει στις διαφορετικές συνοριακές συνθήκες να δοθούν σε διαφορετικές επιφάνειες κατά τη διάρκεια μιας λύσης. Όλες οι επιφάνειες οποιουδήποτε polyPatch αποθηκεύονται ως ένα μονό μπλοκ του faceList, έτσι ώστε οι επιφάνειες να μπορούν να προσεγγιστούν εύκολα χρησιμοποιώντας αναφορές στο πρώτο και τελευταίο επίπεδο του μπλοκ.

Κάθε polyPatch κατασκευάζεται έπειτα από:

- Μία φέτα
- Μία λέξη για να του ορίσει ένα όνομα.

Η διακριτοποίηση με τη μέθοδο των Πεπερασμένων Όγκων χρησιμοποιεί το συγκεκριμένο στοιχείο που προκύπτει από τη γεωμετρία του πλέγματος που αποθηκεύεται στον κατάλογο polyMesh. Το OpenFOAM επομένως επεκτείνει την κατηγορία polyMesh στο αρχείο fvMesh που αποθηκεύει τα στοιχεία που απαιτούνται πρόσθετα για τη διακριτοποίηση με τη μέθοδο των Πεπερασμένων Όγκων. Το αρχείο fvMesh κατασκευάζεται από το polyMesh και αποθηκεύει τα πρόσθετα στοιχεία στον παρακάτω πίνακα που μπορεί να ενημερωθεί κατά τη διάρκεια του χρόνου εκτέλεσης σε περιπτώσεις όπου το πλέγμα κινείται, κ.λπ....

Class	Description	Symbol	Access function
volScalarField	Cell volumes	V	$V()$
surfaceVectorField	Face area vectors	S_f	$Sf()$
surfaceScalarField	Face area magnitudes	$ S_f $	$magSf()$
volVectorField	Cell centres	C	$C()$
surfaceVectorField	Face centres	C_f	$Cf()$
surfaceScalarField	Face motion fluxes **	ϕ_s	$phi()$

Πίνακας: 30.1.2 : Στοιχεία που αποθηκεύουμε στο αρχείο fvMesh

30.2. Αρχικές και συνοριακές συνθήκες

Μόλις η δημιουργία του πλέγματος είναι πλήρης, εξετάζονται οι αρχικοί τομείς που οργανώνονται για αυτή την περίπτωση. Η περίπτωση οργανώνεται για να αρχίσει στο χρόνο $t = 0$ s, έτσι το αρχικό στοιχείο τομέων αποθηκεύεται μέσα σε ένα 0 sub-directory του cavity directory. Το 0 sub-directory περιέχει 2 αρχεία, p και u , ένα για κάθε μια από τιμές της πίεσης (p) και ταχύτητας (u) για την οποία αρχικές συνθήκες πρέπει να τεθούν.

Για την περίπτωση cavity, το σύνορο αποτελείται από τους τοίχους μόνο, χωρισμένο σε 2 patches που ονομάζονται:

- (1) **fixedWalls** για τις σταθερές πλευρές και τη βάση της κοιλότητας .
- (2) **movingWall** για την κινούμενη περιοχή.

Για τους τοίχους δίνεται ένας συνοριακός όρος **zeroGradient** για την p .

30.3. Physical properties (Φυσικές ιδιότητες)

Για την περίπτωση του **icoFoam**, θα πρέπει να διευκρινιστεί το κινηματικό ιξώδες που αποθηκεύεται από το αρχείο **transportProperties**. Ο όρος κλειδί για το κινηματικό ιξώδες είναι **nu**. Αρχικά αυτή η περίπτωση θα τρέξει με έναν συγκεκριμένο αριθμό Reynolds, όπου ο αριθμός Reynolds ορίζεται ως εξής :

$$Re = d|U|/\nu$$

όπου, το d και το u (m/s^{-1}) είναι το χαρακτηριστικό μήκος και η ταχύτητα αντίστοιχα και ν (m^2s^{-1}) είναι το κινηματικό ιξώδες. Παρακάτω φαίνεται η εντολή όπως ορίζεται στο πρόγραμμα :

```
17
18 nu                nu [ 0 2 -1 0 0 0 ] 0.01;
19
20
21 // ***** //
```

30.4. Control (Έλεγχος)

Τα δεδομένα εισόδου σχετικά με τον έλεγχο του χρόνου και την ανάγνωση και το γράψιμο των στοιχείων λύσης διαβάζονται μέσα από το αρχείο **controlDict**. Θα πρέπει να δοθούν οι χρόνοι στο **startTime** και στο **endTime**. Για το **endTime**, επιθυμούμε να φθάσουμε στη στάσιμη λύση όπου η ροή κυκλοφορεί γύρω από την κοιλότητα.

Θα πρέπει να θέσουμε το χρονικό βήμα, που εκφράζεται από τη λέξη **deltaT**. Για να πετύχουμε χρονική ακρίβεια και αριθμητική σταθερότητα κατά το τρέξιμο του **icoFoam**, απαιτείται ένας αριθμός Courant μικρότερος του 1. Ο αριθμός Courant καθορίζεται για ένα κελί ως:

$$Co = \delta t |U| / \delta x$$

Όπου, δt είναι το χρονικό βήμα, $|u|$ είναι το μέτρο της ταχύτητας και δx είναι το μέγεθος κελιών στην κατεύθυνση της ταχύτητας.

30.5. Εξέταση του πλέγματος

Προτού τρέξουμε το πρόγραμμα είναι μια καλή ιδέα να εξετάσουμε το πλέγμα για οποιαδήποτε λάθη. Το πλέγμα το βλέπουμε πληκτρολογώντας την εντολή paraFoam.

```
paraFoam -case $FOAM RUN/tutorials/incompressible/icoFoam/cavity
```

Αυτό προωθεί το παράθυρο ParaView όπου εκεί μπορούμε να δούμε το πλέγμα, να επιλέξουμε την γεωμετρία που θέλουμε και έπειτα κάνοντας κλικ στο Apply βλέπουμε τα αποτελέσματα των ρυθμίσεών μας.

30.6. Δημιουργία του βαθμολογημένου πλέγματος

Στην παρούσα διπλωματική εργασία το πλέγμα της λίμνης χρειάστηκε να χωριστεί σε 5 blocks. Η δομή των blocks για αυτό το πλέγμα παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Έτσι μπορούμε να δούμε το αρχείο *blockMeshDict* στο *constant/polyMesh subdirectory of cavityGrade*. Χάριν πληρότητας τα βασικά στοιχεία του αρχείου *blockMeshDict* παρουσιάζονται επίσης παρακάτω.

```
/*----- C++ -----*\
|=====|
| \ / F i e l d | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox |
| \ / O p e r a t i o n | Version: 1.7.1 |
| \ / A n d | Web: www.OpenFOAM.com |
| \ / M a n i p u l a t i o n |
|*-----*/
FoamFile
{
    version 2.0;
    format ascii;
    class dictionary;
    object blockMeshDict;
}
// * * * * *
* * * * * //

convertToMeters 1000.;

vertices
(
    (2.418 3.874 0)//12 changed x,y
    (4.155 1.659 0)//13 changed x,y
    (1.291 6.774 0)//14 changed x,y
    (3.116 6.032 0)//15 changed x,y
    (3.416 5.678 0)//16 changed x,y
    (6.687 3.519 0)//17 changed x,y
    (1.799 8.696 0)//18 changed x,y
    (3.343 8.392 0)//19 changed x,y
    (4.731 8.683 0)//20 changed x,y
    (8.318 6.854 0)//21 changed x,y
```

```

(2.004 10.373 0)//22 changed x,y
(3.627 10.148 0)//23 changed x,y
(2.419 3.876 0.003)//0
(4.157 1.660 0.003)//1
(1.291 6.777 0.003)//2
(3.118 6.035 0.003)//3
(3.418 5.681 0.003)//4
(6.690 3.521 0.003)//5
(1.800 8.700 0.003)//6
(3.345 8.396 0.003)//7
(4.733 8.687 0.003)//8
(8.322 6.857 0.003)//9
(2.005 10.378 0.003)//10
(3.629 10.153 0.003)//11
);

```

Το περίγραμμα του πλέγματος έχει στρογγυλοποιηθεί σε κάποια σημεία με την εντολή `polyLine`. Όλη η γεωμετρία δημιουργείται σε 3 διαστάσεις. Επομένως η z κατεύθυνση των blocks πρέπει να σημειωθεί στο αρχείο `blockMeshDict` και στην παρούσα εργασία το βάθος σε όλη τη λίμνη είναι σταθερό και ίσο με 3 m (παραπάνω σχήμα). Σε κάθε ένα από τα σημεία (vertices) δίνονται οι πραγματικές διαστάσεις x, y, z της λίμνης.

Στη συνέχεια ορίσαμε τα blocks στα οποία υποδιαιρείται το πεδίο ροής τα οποία είναι 5 και για κάθε ένα block (π.χ. (0 1 5 4 12 13 17 16)) δημιουργούμε ένα πλέγμα αναλόγως με τη θέση του στο πεδίο μελέτης μας. Τα blocks και ο αριθμός των κελιών για κάθε block αντίστοιχα φαίνονται παρακάτω. Ο αριθμός των κελιών σε κάθε κατεύθυνση φαίνεται παρακάτω (20 20 10), καθώς και η αναλογία επέκτασης κελιών για κάθε κατεύθυνση στο block (1 1 1).

```

blocks
(
  hex (0 1 5 4 12 13 17 16) (20 20 20) simpleGrading (1 1 1)
  hex (2 3 7 6 14 15 19 18) (20 20 20) simpleGrading (1 1 1)
  hex (3 4 8 7 15 16 20 19) (10 20 20) simpleGrading (1 1 1)
  hex (4 5 9 8 16 17 21 20) (20 20 20) simpleGrading (1 1 1)
  hex (6 7 11 10 18 19 23 22) (20 20 20) simpleGrading (1 1 1)
)

```

Το επόμενο βήμα είναι η δημιουργία της καμπύλης της λίμνης και για να επιτευχθεί αυτό επιλέξαμε τη μέθοδο `polyLine` και εισάγαμε τα σημεία όπως φαίνονται παρακάτω.

```

edges
(
  polyLine 1 5 (
    (4.325 1.659 0)
    (4.610 1.908 0)
    (5.218 2.118 0)
    (5.437 2.408 0)
    (5.534 2.714 0)
    (6.541 3.181 0)
  )
  polyLine 13 17 (

```

```

(4.327 1.660 0.003)
(4.612 1.909 0.003)
(5.221 2.119 0.003)
(5.440 2.409 0.003)
(5.537 2.715 0.003)
(6.544 3.183 0.003)
)
polyLine 5 9 (
(7.376 4.019 0)
(7.742 4.389 0)
(7.977 4.317 0)
)
polyLine 17 21 (
(7.380 4.021 0.003)
(7.746 4.391 0.003)
(7.981 4.319 0.003)
)
polyLine 9 8 (
(8.091 6.725 0)
(7.696 7.396 0)
(7.696 7.425 0)
(7.044 7.868 0)
(7.019 8.304 0)
(6.655 8.812 0)
(6.257 8.932 0)
(6.078 8.771 0)
(4.731 8.683 0)
)
polyLine 21 20 (
(8.095 6.728 0.003)
(7.700 7.400 0.003)
(7.770 7.429 0.003)
(7.048 7.872 0.003)
(7.023 8.308 0.003)
(6.658 8.816 0.003)
(6.260 8.936 0.003)
(6.081 8.775 0.003)
(4.733 8.687 0.003)
)
polyLine 7 11 (
(3.285 8.782 0)
(3.885 9.314 0)
(3.666 9.611 0)
)
polyLine 19 23 (
(3.288 8.791 0.003)
(3.889 9.323 0.003)
(3.670 9.621 0.003)
)
polyLine 11 10 (
(3.181 10.704 0)
(2.134 10.486 0)
)
polyLine 23 22 (
(3.183 10.709 0.003)
(2.135 10.491 0.003)
)
);

```

Έπειτα δημιουργήσαμε τις διεπιφάνειες του πλέγματος όπως παραθέτονται παρακάτω. Στα patches ορίζουμε τις πλευρές που υπάρχουν συνοριακές συνθήκες.

```
patches
(
  wall fixedWalls
  (
    (6 18 22 10)
    (2 14 18 6)
    (3 15 14 2)
    (4 16 15 3)
    (0 12 16 4)
    (1 13 12 0)
    (5 17 13 1)
    (9 21 17 5)
    (8 20 21 9)
    (7 19 20 8)
    (11 23 19 7)
    (10 22 23 11)
    (0 1 5 4)
    (4 5 9 8)
    (3 4 8 7)
    (2 3 7 6)
    (6 7 11 10)
  )
  patch topWall
  (
    (22 23 19 18)
    (18 19 15 14)
    (19 20 16 15)
    (20 21 17 16)
    (16 17 13 12)
  )
);
mergePatchPairs
(
);

// ***** //
```

31. Προεπεξεργασία

Μια σειρά των προτύπων λειτουργίας είναι διαθέσιμη στο OpenFOAM. Το τυρβώδες ιξώδες, ν_T , διευκρινίζεται στο αρχείο *0/nut*. Ανοίγοντας τα αρχεία για το k και το ϵ (*0/k* και *0/epsilon*) εξετάζουμε τις συνοριακές συνθήκες. Οι εξισώσεις για το k και το ϵ είναι οι παρακάτω:

$$k = 1/2(U' \cdot U')$$

$$\epsilon = (C_\mu^{0.75} k^{1.5}) / l$$

όπου, C_μ είναι μια σταθερά του μοντέλου k-ε. Για μια καρτεσιανή συντεταγμένη το σύστημα, k δίνεται από:

$$k = 1/2(U'^2_x + U'^2_y + U'^2_z)$$

όπου, U'^2_x , U'^2_y , U'^2_z είναι οι συνιστώσες της ταχύτητας διακύμανσης στην κατεύθυνση x, y και z αντίστοιχα.

32. Αλγόριθμος Simple

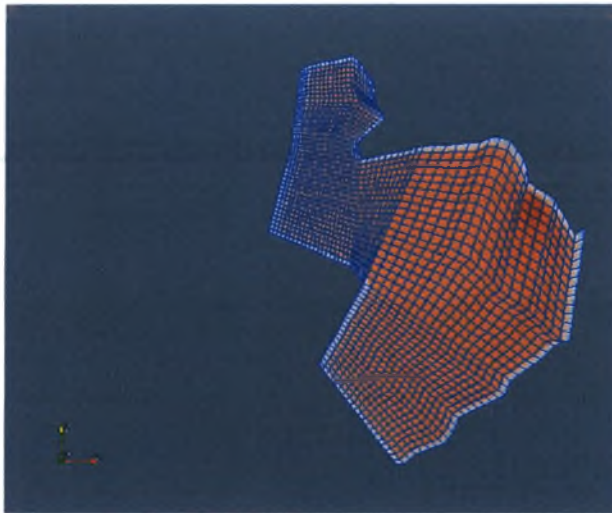
Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος Simple. Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιεί επαναληπτικές διαδικασίες για τις εξισώσεις της ταχύτητας και της πίεσης. Είναι βασισμένος στην αξιολόγηση μερικών αρχικών λύσεων και έπειτα τη διόρθωσή τους. Ο αλγόριθμος Simple κάνει μια διόρθωση. (www.openfoam.com).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

33. Αποτελέσματα – Σχόλια - Παρατηρήσεις

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των τρισδιάστατων προσομοιώσεων της ροής του ύδατος της λίμνης Κάρλας υπό την επίδραση επιφανειακών ρευμάτων που δημιουργούνται λόγω διάτμησης από τον άνεμο. Εξετάζεται η επίδραση τόσο της ταχύτητας του ανέμου όσο και της διεύθυνσής του.

Για τις ανάγκες της ορθής προσομοίωσης της ροής στη λίμνη δημιουργήθηκε και εξετάστηκε αραιός κάνναβος με σκοπό την εξεύρεση του βέλτιστου μέσα από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων.

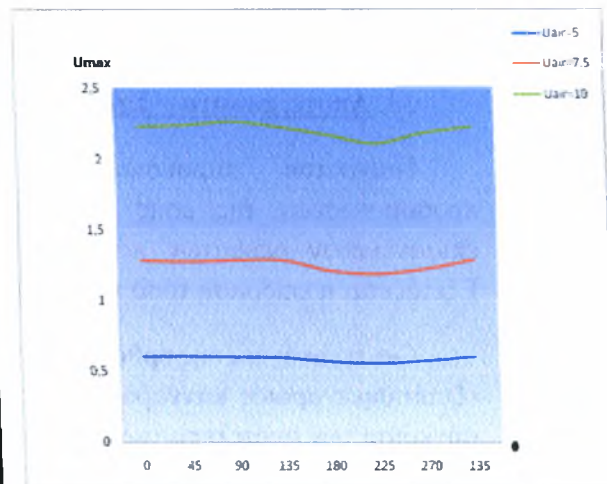


Σχήμα: 33.1: ο αραιός υπολογιστικός κάνναβος με τα πέντε blocks.

Πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις για 8 διευθύνσεις αέρα (B, N, Δ, Α, ΒΔ, ΒΑ, ΝΔ, ΝΑ) ισοκατανεμημένες σε γωνία 45 μοιρών για διάφορες εντάσεις αέρα, λαμβάνοντας υπόψη τις ανεμολογικές συνθήκες της περιοχής: 5.0 m/sec, 7.5 m/sec, 10.0 m/sec (36 km/h).

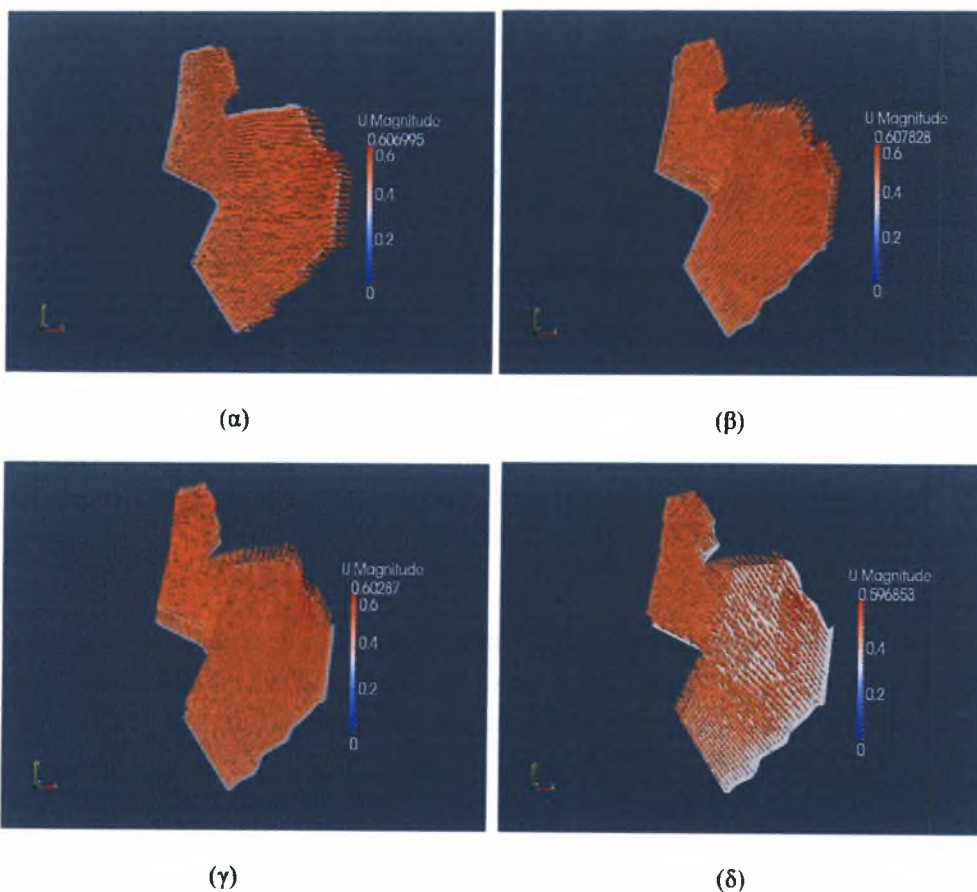
Μέσω της ελεύθερης επιφάνειας της λίμνης μεταφέρεται μέρος της κινητικής ενέργειας του ανέμου στο νερό. Στο παρακάτω διάγραμμα γίνεται αντιληπτός ο τρόπος που μεταβάλλεται η μέγιστη ταχύτητα του νερού στη λίμνη της Κάρλας σε συνάρτηση με τις οκτώ διευθύνσεις του αέρα.

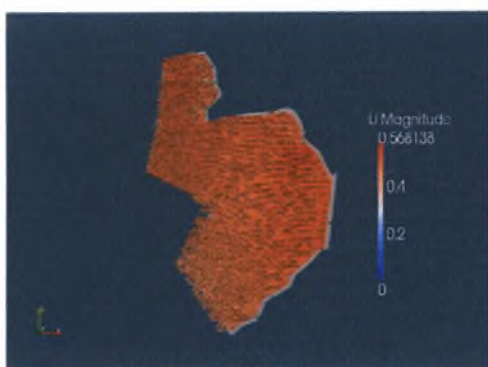
θ	$U_{air}=5$	$U_{air}=7.5$	$U_{air}=10$
0°	0,606995	1,2818171	2,232832
45°	0,607828	1,273512	2,242547
90°	0,60287	1,284098	2,267523
135°	0,596853	1,282104	2,226379
180°	0,568138	1,207873	2,169993
225°	0,556948	1,187177	2,107725
270°	0,575623	1,222196	2,183744
135°	0,607712	1,286346	2,228532



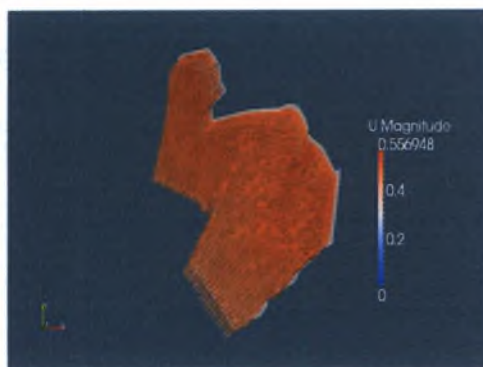
Σχήμα: 33.2: Διάγραμμα που παριστάνει τη μεταβολή της μέγιστης ταχύτητας του νερού της λίμνης συναρτήσει των οκτώ διευθύνσεων του αέρα.

- **Αποτελέσματα όπου λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της ταχύτητας του ανέμου 5 m/s όσο και της διεύθυνσής του.**

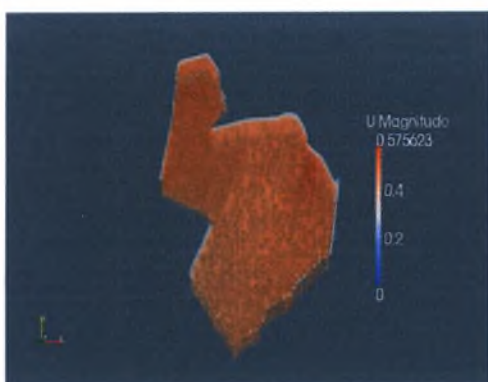




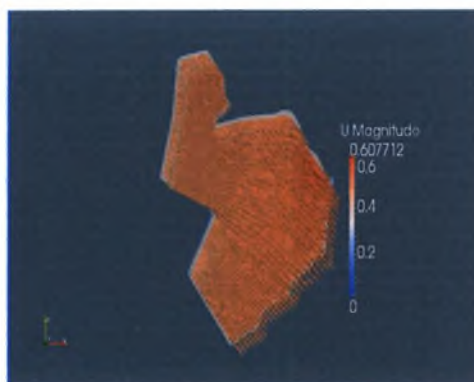
(ε)



(στ)



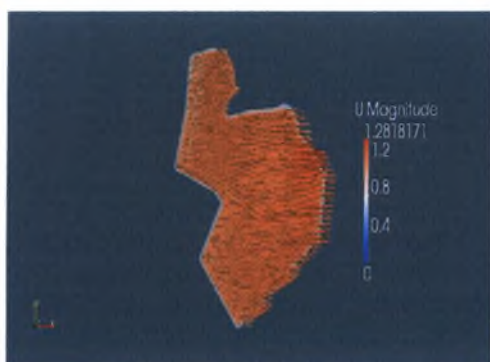
(ζ)



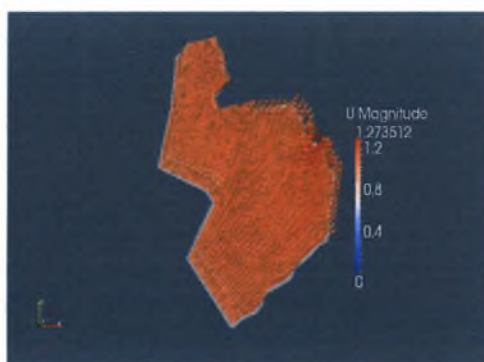
(η)

Σχήμα: 33.3: Διανύσματα ροής στην επιφάνεια της λίμνης για ταχύτητα 5m/sec, για τις περιπτώσεις: α) Δυτικός άνεμος, β) Νοτιοδυτικός άνεμος, γ) Νότιος άνεμος, δ) Νοτιοανατολικός άνεμος, ε) Ανατολικός άνεμος, στ) Βορειοανατολικός άνεμος, ζ) Βόρειος άνεμος, η) Βορειοδυτικός άνεμος.

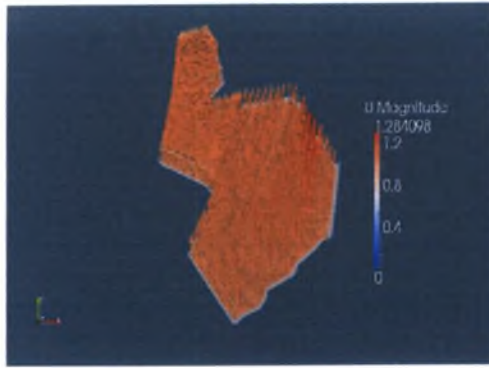
➤ **Αποτελέσματα όπου λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της ταχύτητας του ανέμου 7.5 m/s όσο και της διεύθυνσής του.**



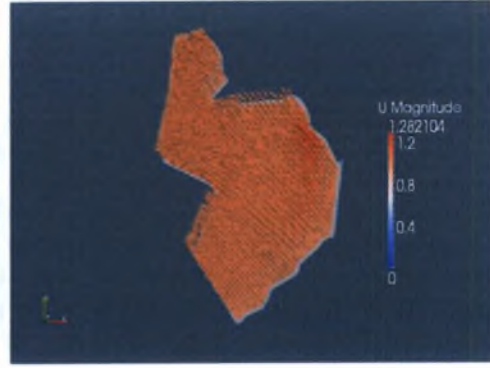
(α)



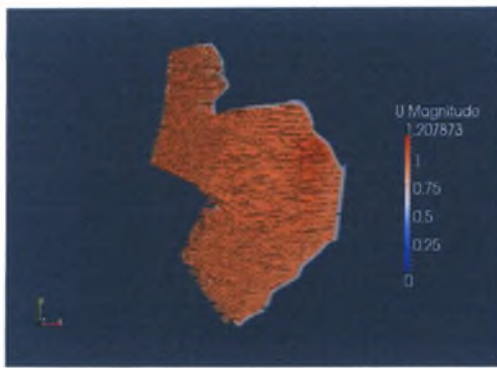
(β)



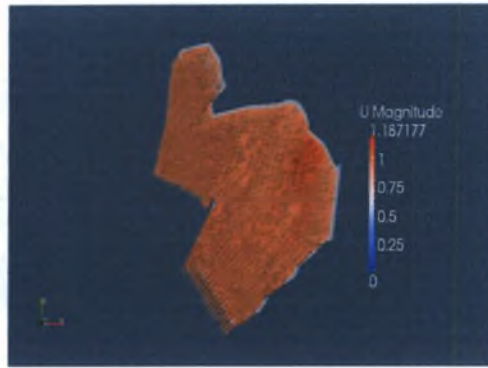
(γ)



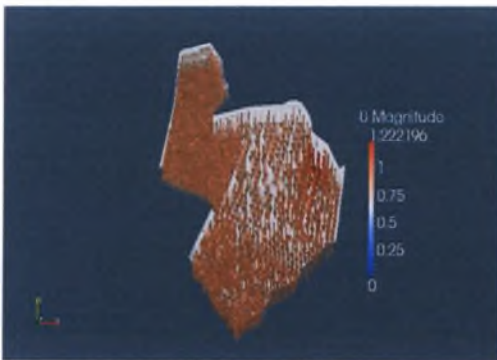
(δ)



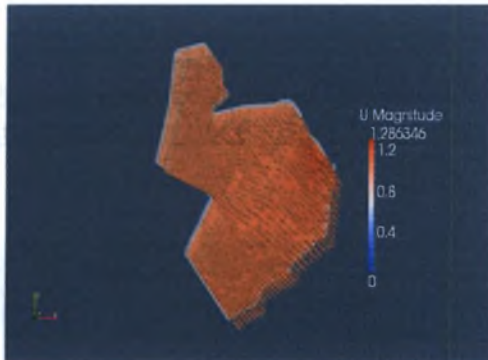
(ε)



(στ)



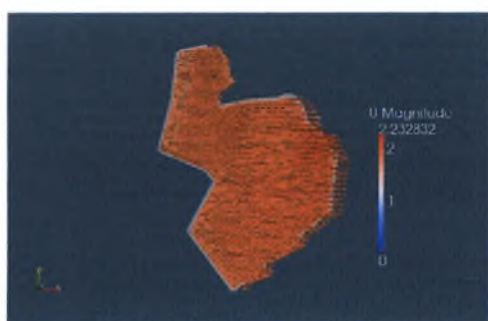
(ζ)



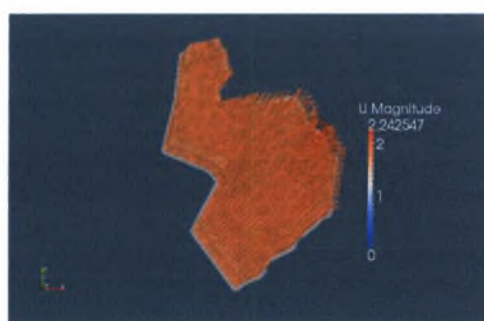
(η)

Σχήμα: 33.4: Διανύσματα ροής στην επιφάνεια της λίμνης για ταχύτητα 7.5 m/sec, για τις περιπτώσεις: α) Δυτικός άνεμος, β) Νοτιοδυτικός άνεμος, γ) Νότιος άνεμος, δ) Νοτιοανατολικός άνεμος, ε) Ανατολικός άνεμος, στ) Βορειοανατολικός άνεμος, ζ) Βόρειος άνεμος, η) Βορειοδυτικός άνεμος.

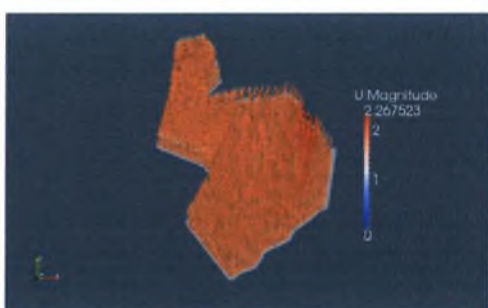
- Αποτελέσματα όπου λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της ταχύτητας του ανέμου 10.0 m/s όσο και της διεύθυνσής του.



(α)



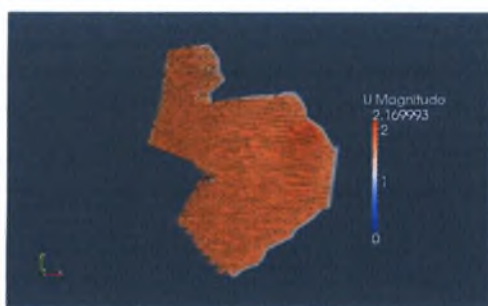
(β)



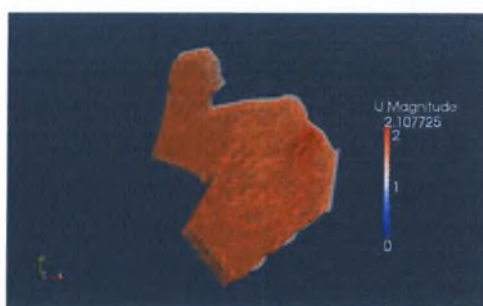
(γ)



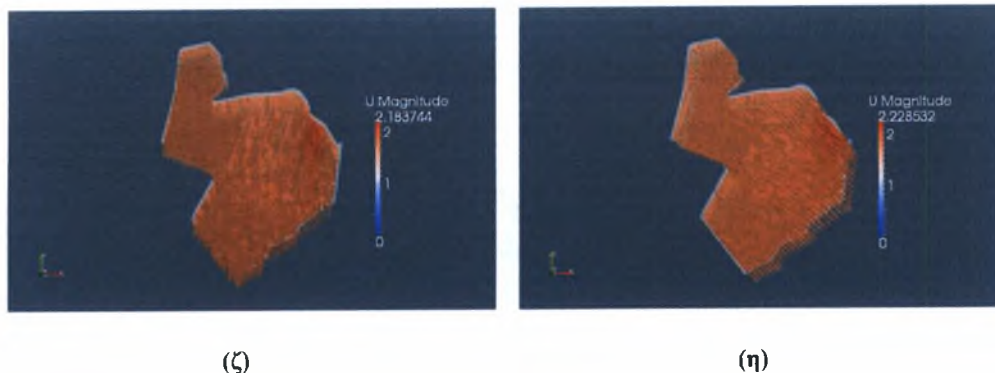
(δ)



(ε)



(στ)



Σχήμα: 33.5: Διανύσματα ροής στην επιφάνεια της λίμνης για ταχύτητα 10.0 m/sec, για τις περιπτώσεις: α) Δυτικός άνεμος, β) Νοτιοδυτικός άνεμος, γ) Νότιος άνεμος, δ) Νοτιοανατολικός άνεμος, ε) Ανατολικός άνεμος, στ) Βορειοανατολικός άνεμος, ζ) Βόρειος άνεμος, η) Βορειοδυτικός άνεμος.

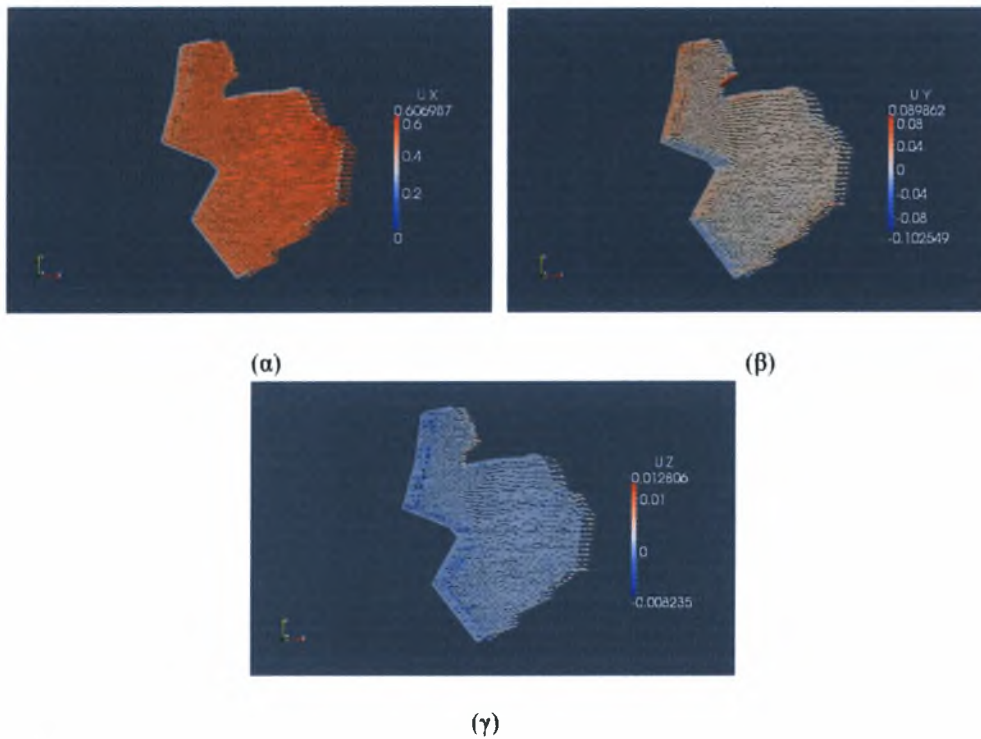
Παρατηρώντας τα διαγράμματα της ροής προκύπτει ότι ανάλογα με τη διεύθυνση του ανέμου υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας υδάτινων επιφανειακών ρευμάτων ανακυκλοφορίας. Τα ρεύματα αυτά ξεκινούν από την επιφάνεια αλλά εκτείνονται σχεδόν σε όλο το βάθος του ύδατος.

Η ροή στην επιφάνεια έχει μόνο μια διεύθυνση, αυτή του αέρα, και το νερό κυρίως ανακυκλοφορεί εγκάρσια. Επίσης, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η ένταση του αέρα για το εύρος τιμών που μελετήσαμε έχει δευτερεύουσα σημασία ως προς τη θέση των επιφανειακών ρευμάτων ανακυκλοφορίας.

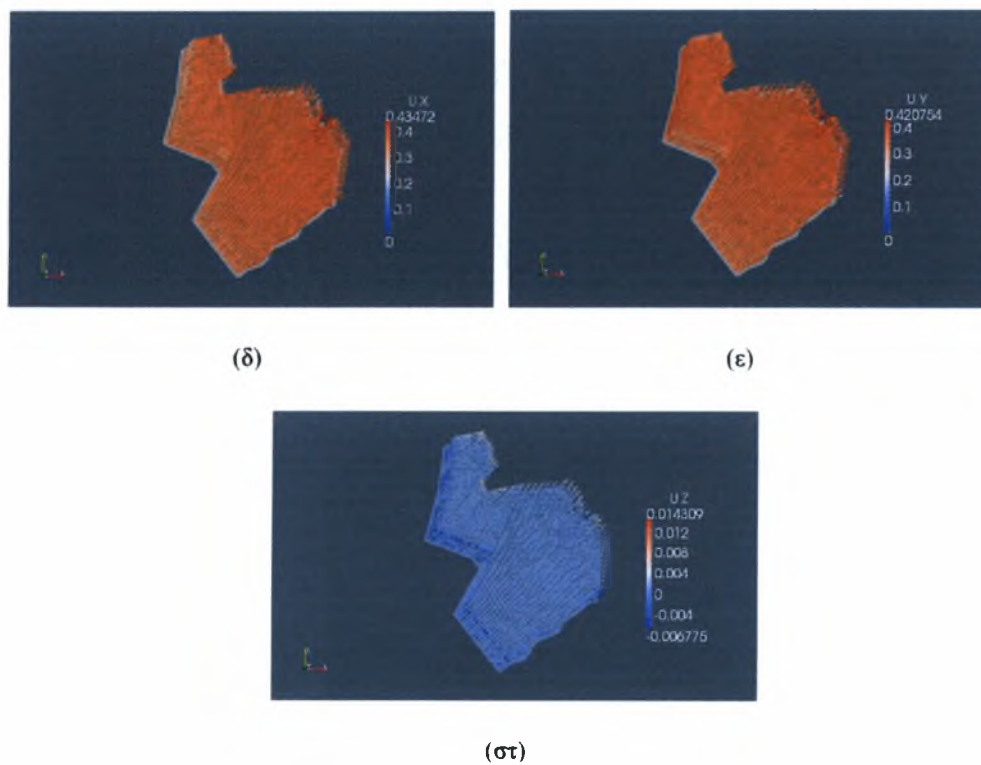
Παράλληλα με τα οριζόντια ρεύματα ανακυκλοφορίας δημιουργούνται και κάθετα υδάτινα ρεύματα. Για τις υπό εξέταση περιπτώσεις παρατηρήθηκε η δημιουργία μόνο μεγάλων εγκάρσιων ρευμάτων που εκτείνονται σε όλο το πλάτος και βάθος της λίμνης.

Ολοκληρωμένα στοιχεία για τις περιοχές ανωστικών και καθοδικών ρευμάτων φαίνονται στα παρακάτω σχήματα που απεικονίζουν την κατανομή της ταχύτητας κατά την x-κατεύθυνση, την y-κατεύθυνση και την z-κατεύθυνση, για τις διάφορες διευθύνσεις και εντάσεις του ανέμου. Σημειώνεται ότι τα θετικά πρόσημα της ταχύτητας αντιστοιχούν σε ανωστικά ρεύματα νερού, ενώ τα αρνητικά σε καθοδικά ρεύματα νερού.

Επίσης παρατηρούνται μικρές ταχύτητες και σε μερικές περιπτώσεις έως και πολύ μικρές ταχύτητες που τείνουν να μηδενιστούν, λόγω της αλλαγής στη διεύθυνση της ορμής κοντά στην επιφάνεια. Παρόλα αυτά, στα παρακάτω σχήματα παρατηρείται η επίδραση της διεύθυνσης του ανέμου στην κατανομή των ανωστικών και καθοδικών ρευμάτων του νερού.



Σχήμα: 33.6: Διανύσματα ροής στην α) x-κατεύθυνση, β) y-κατεύθυνση, γ) z-κατεύθυνση για ταχύτητα 5.0 m/sec, για Δυτικό άνεμο.



Σχήμα: 33.7: Διανύσματα ροής στην δ) x-κατεύθυνση, ε) y-κατεύθυνση, στ) z-κατεύθυνση για ταχύτητα 5.0 m/sec, για Νοτιοδυτικό άνεμο.



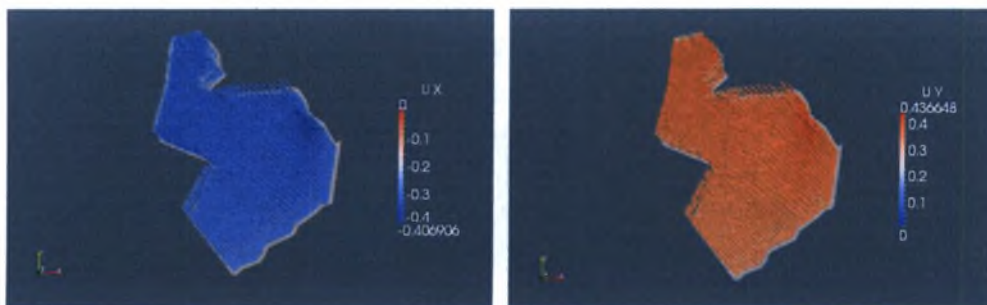
(α)

(β)



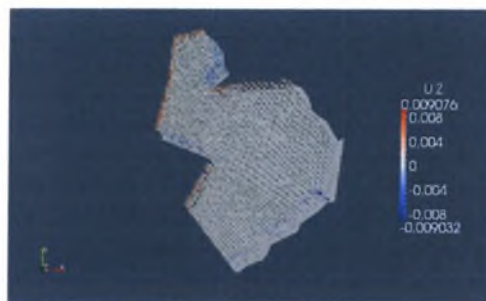
(γ)

Σχήμα: 33.7: Διανύσματα ροής στην α) x-κατεύθυνση, β) y-κατεύθυνση, γ) z-κατεύθυνση για ταχύτητα 5.0 m/sec, για Νότιο άνεμο.



(δ)

(ε)



(στ)

Σχήμα: 33.8: Διανύσματα ροής στην δ) x-κατεύθυνση, ε) y-κατεύθυνση, στ) z-κατεύθυνση για ταχύτητα 5.0 m/sec, για Νοτιοανατολικό άνεμο.



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα: 33.9: Διανύσματα ροής στην α) x-κατεύθυνση, β) y-κατεύθυνση, γ) z-κατεύθυνση για ταχύτητα 5.0 m/sec, για Ανατολικό άνεμο.



(δ)

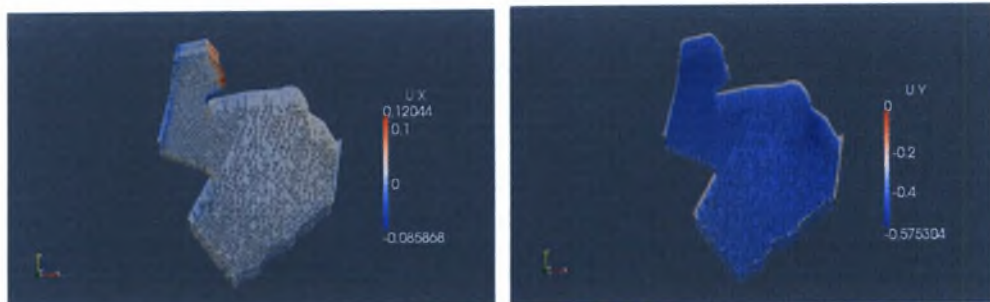


(ε)



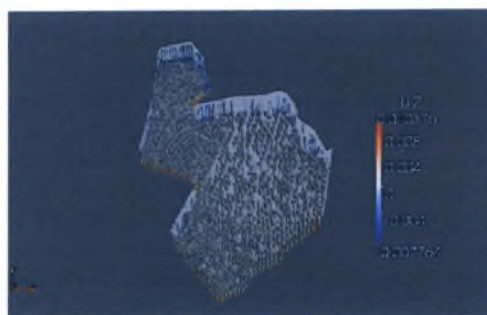
(στ)

Σχήμα: 33.9: Διανύσματα ροής στην δ) x-κατεύθυνση, ε) y-κατεύθυνση, στ) z-κατεύθυνση για ταχύτητα 5.0 m/sec, για Βορειοανατολικό άνεμο.



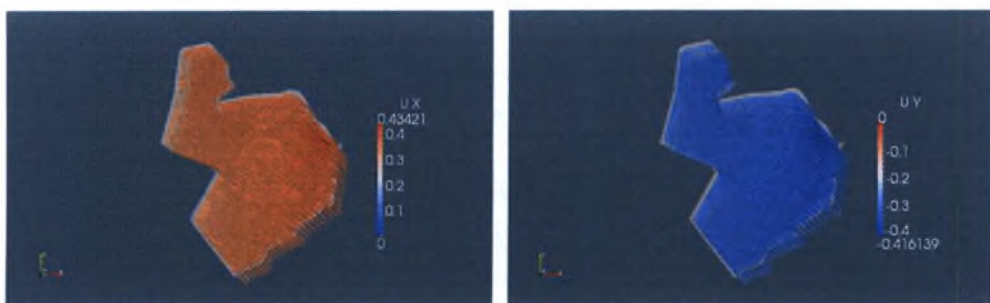
(α)

(β)



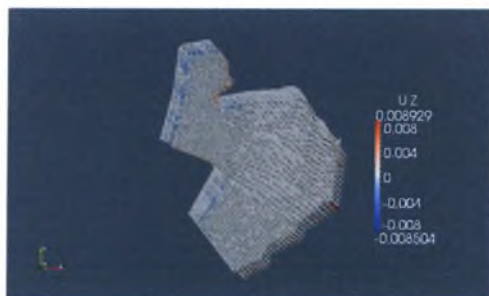
(γ)

Σχήμα: 33.10: Διανύσματα ροής στην α) x-κατεύθυνση, β) y-κατεύθυνση, γ) z-κατεύθυνση για ταχύτητα 5.0 m/sec, για Βόρειο άνεμο.



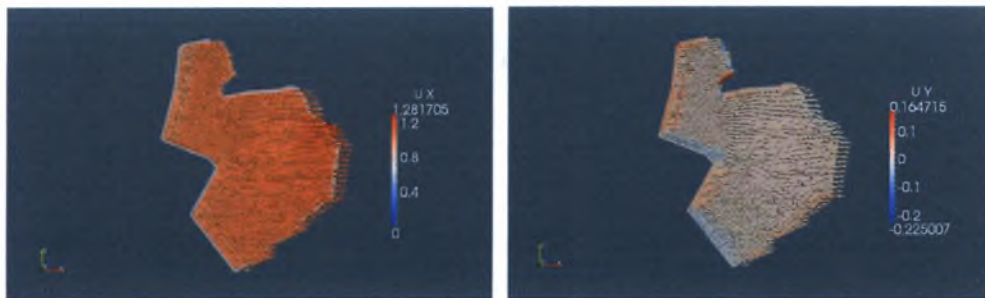
(δ)

(ε)



(στ)

Σχήμα: 33.11: Διανύσματα ροής στην δ) x-κατεύθυνση, ε) y-κατεύθυνση, στ) z-κατεύθυνση για ταχύτητα 5.0 m/sec, για Βορειοδυτικό άνεμο.



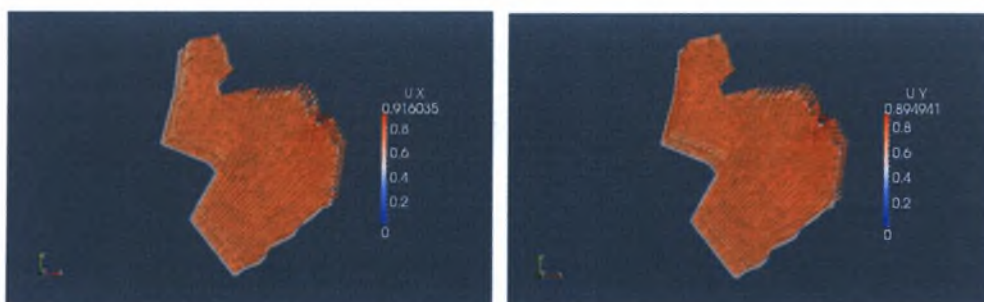
(α)

(β)



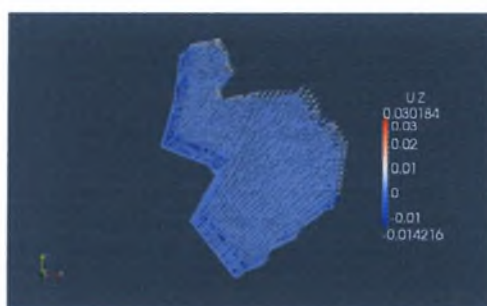
(γ)

Σχήμα: 33.12: Διανύσματα ροής στην α) x-κατεύθυνση, β) y-κατεύθυνση, γ) z-κατεύθυνση για ταχύτητα 7.5 m/sec, για Δυτικό άνεμο.



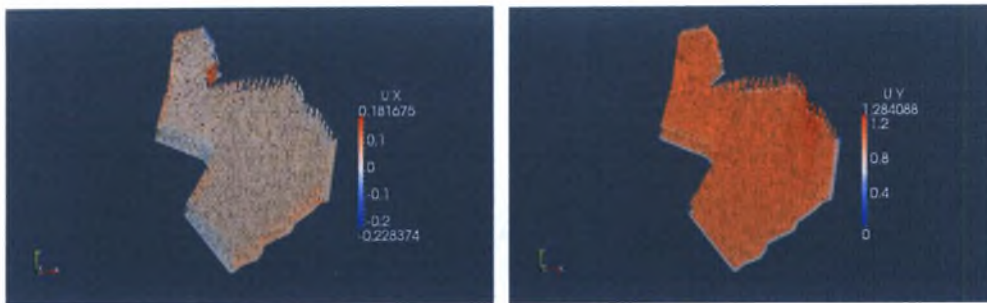
(δ)

(ε)



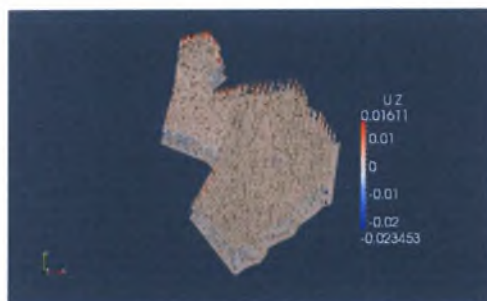
(στ)

Σχήμα: 33.13 : Διανύσματα ροής στην δ) x-κατεύθυνση, ε) y-κατεύθυνση, στ) z-κατεύθυνση για ταχύτητα 7.5 m/sec, για Νοτιοδυτικό άνεμο.



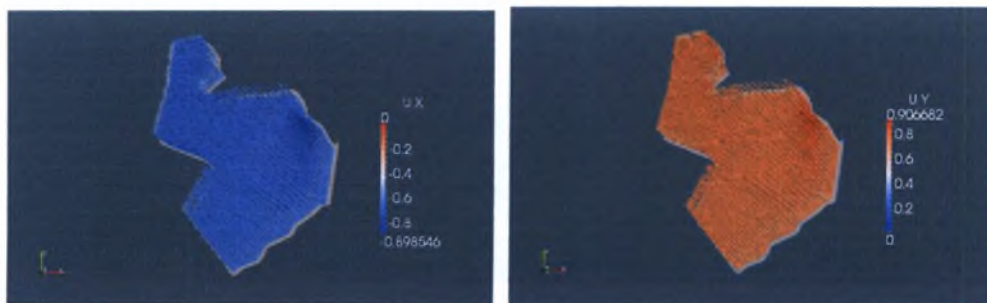
(α)

(β)



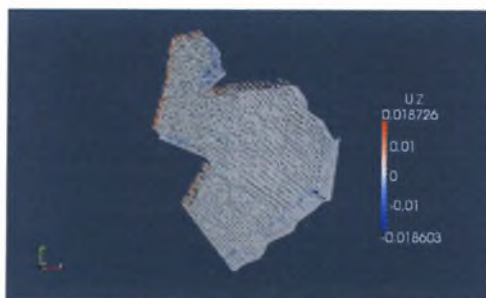
(γ)

Σχήμα: 33.14: Διανύσματα ροής στην α) x-κατεύθυνση, β) y-κατεύθυνση, γ) z-κατεύθυνση για ταχύτητα 7.5 m/sec, για Νότιο άνεμο.



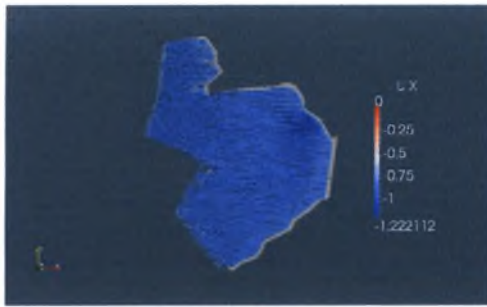
(δ)

(ε)

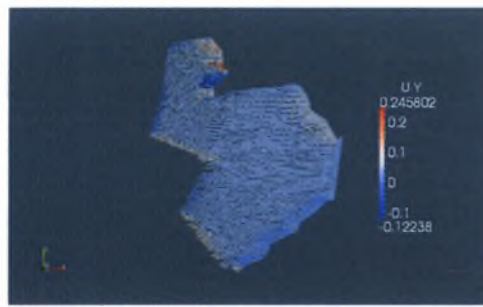


(στ)

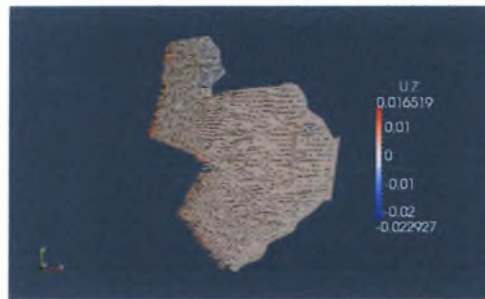
Σχήμα: 33.15: Διανύσματα ροής στην δ) x-κατεύθυνση, ε) y-κατεύθυνση, στ) z-κατεύθυνση για ταχύτητα 7.5 m/sec, για Νοτιοανατολικό άνεμο.



(α)

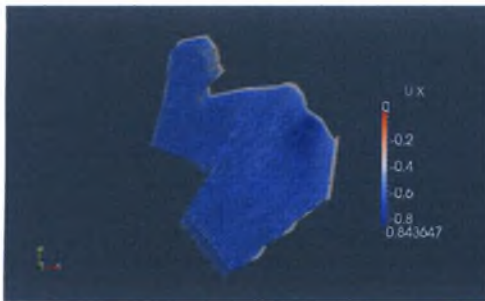


(β)



(γ)

Σχήμα: 33.16: Διανύσματα ροής στην α) x-κατεύθυνση, β) y-κατεύθυνση, γ) z-κατεύθυνση για ταχύτητα 7.5 m/sec, για Ανατολικό άνεμο.



(δ)

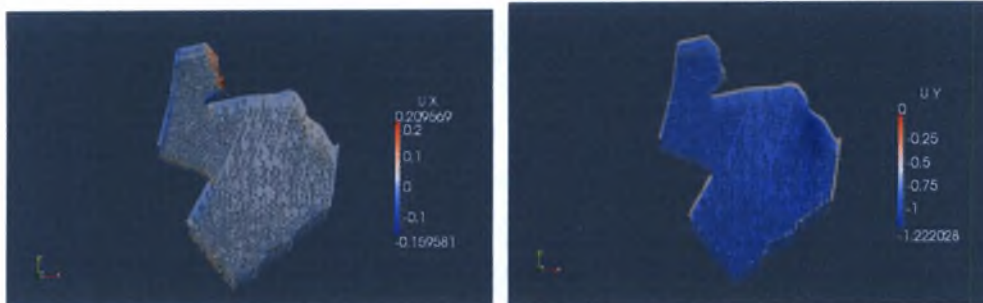


(ε)



(στ)

Σχήμα: 33.17: Διανύσματα ροής στην δ) x-κατεύθυνση, ε) y-κατεύθυνση, στ) z-κατεύθυνση για ταχύτητα 7.5 m/sec, για Βορειοανατολικό άνεμο.



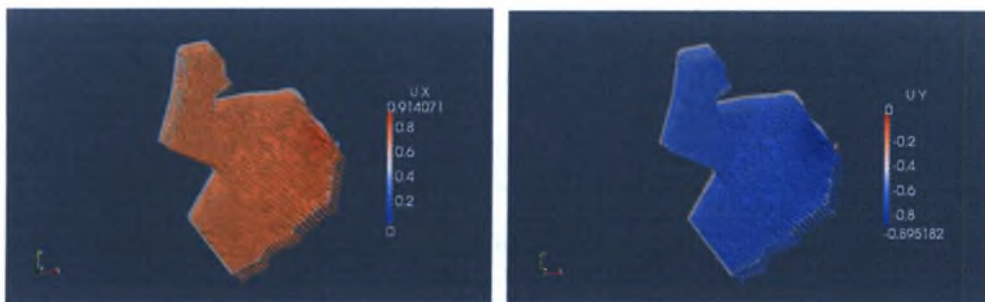
(α)

(β)



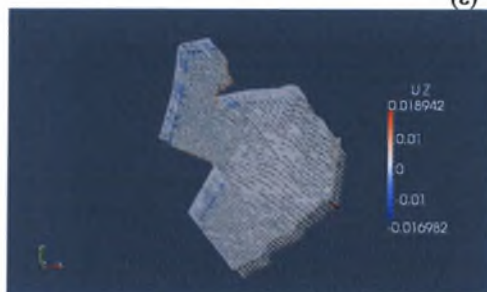
(γ)

Σχήμα: 33.18: Διανύσματα ροής στην α) x-κατεύθυνση, β) y-κατεύθυνση, γ) z-κατεύθυνση για ταχύτητα 7.5 m/sec, για Βόρειο άνεμο.



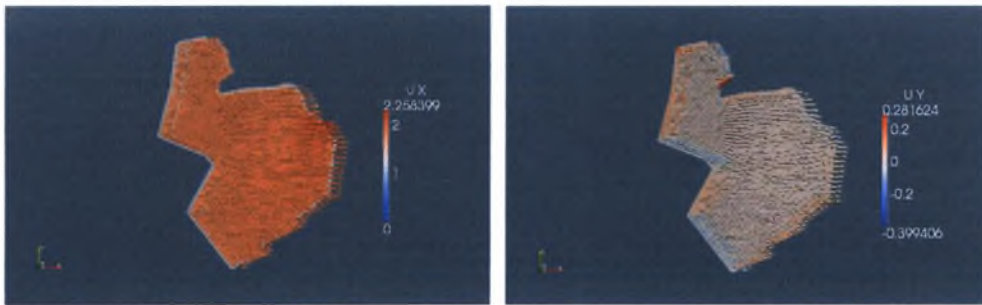
(δ)

(ε)



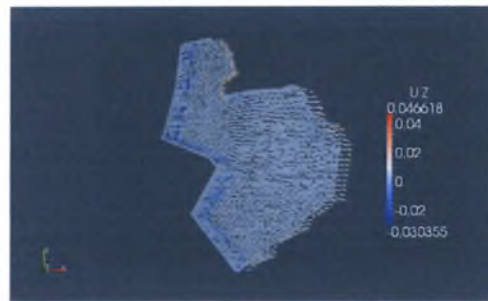
(στ)

Σχήμα: 33.19: Διανύσματα ροής στην δ) x-κατεύθυνση, ε) y-κατεύθυνση, στ) z-κατεύθυνση για ταχύτητα 7.5 m/sec, για Βορειοδυτικό άνεμο.



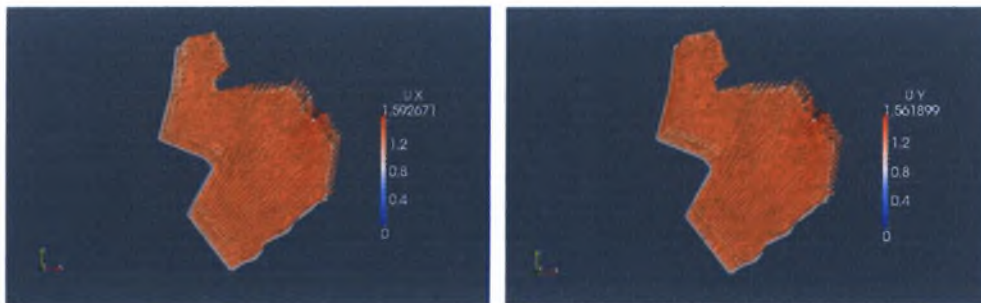
(α)

(β)



(γ)

Σχήμα: 33.20: Διανύσματα ροής στην α) x-κατεύθυνση, β) y-κατεύθυνση, γ) z-κατεύθυνση για ταχύτητα 10.0 m/sec, για Δυτικό άνεμο.



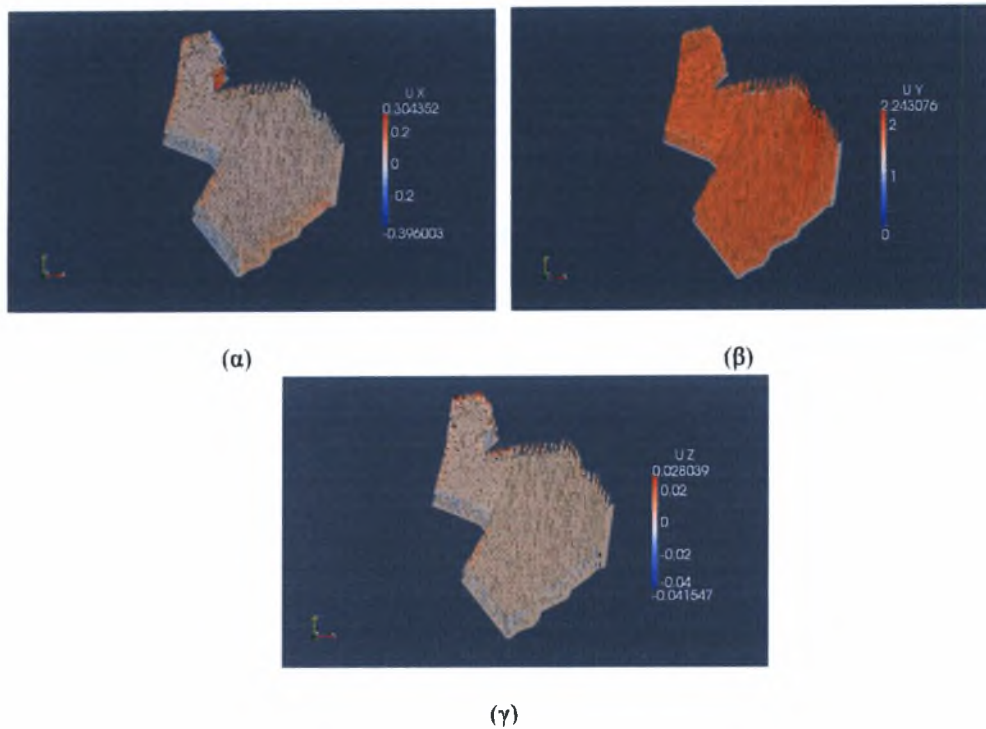
(δ)

(ε)

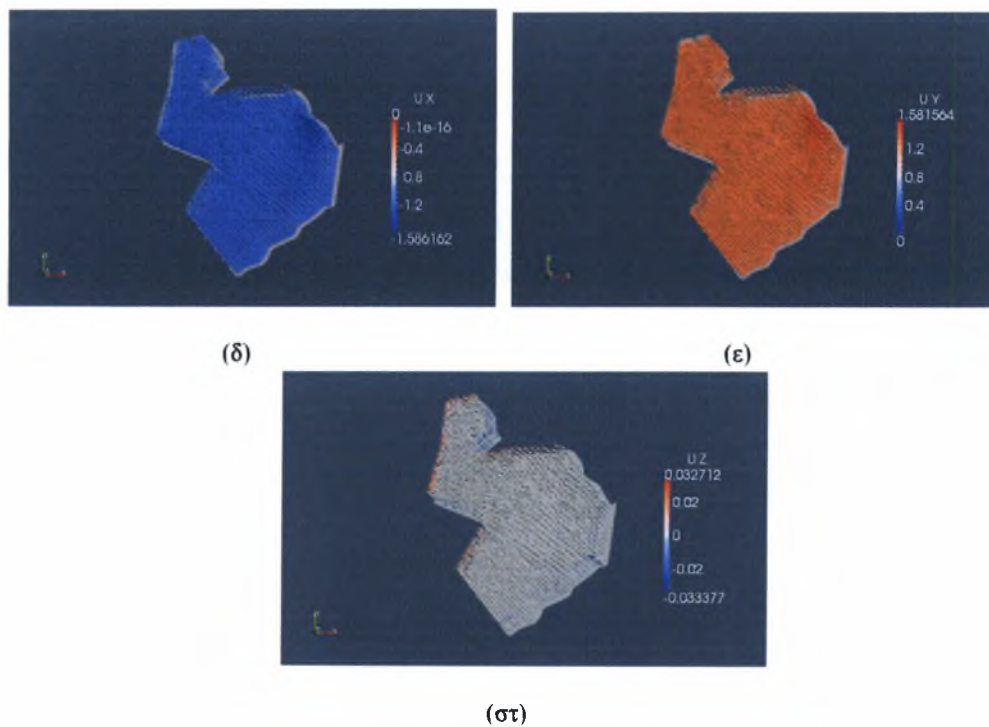


(στ)

Σχήμα: 33.21: Διανύσματα ροής στην δ) x-κατεύθυνση, ε) y-κατεύθυνση, στ) z-κατεύθυνση για ταχύτητα 10.0 m/sec, για Νοτιοδυτικό άνεμο.



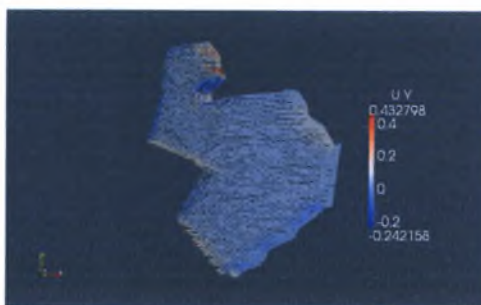
Σχήμα: 33.22: Διανύσματα ροής στην α) x-κατεύθυνση, β) y-κατεύθυνση, σγ) z-κατεύθυνση για ταχύτητα 10.0 m/sec, για Νότιο άνεμο.



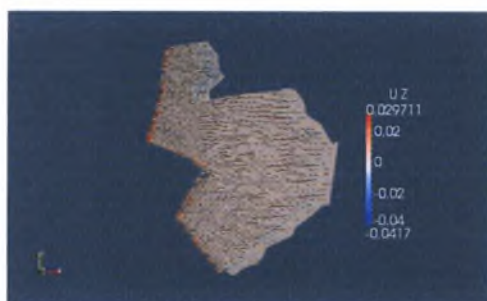
Σχήμα: 33.23: Διανύσματα ροής στην δ) x-κατεύθυνση, ε) y-κατεύθυνση, στ) z-κατεύθυνση για ταχύτητα 10.0 m/sec, για Νοτιοανατολικό άνεμο.



(α)

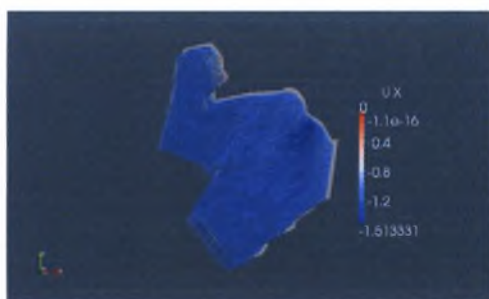


(β)

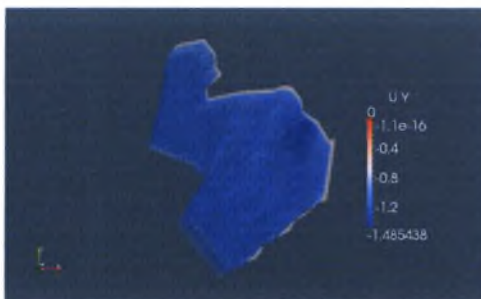


(γ)

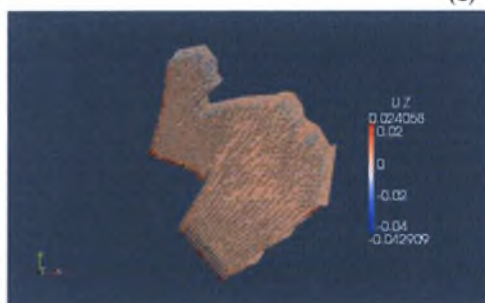
Σχήμα: 33.24: Διανύσματα ροής στην α) x-κατεύθυνση, β) y-κατεύθυνση, γ) z-κατεύθυνση για ταχύτητα 10.0 m/sec, για Ανατολικό άνεμο.



(δ)

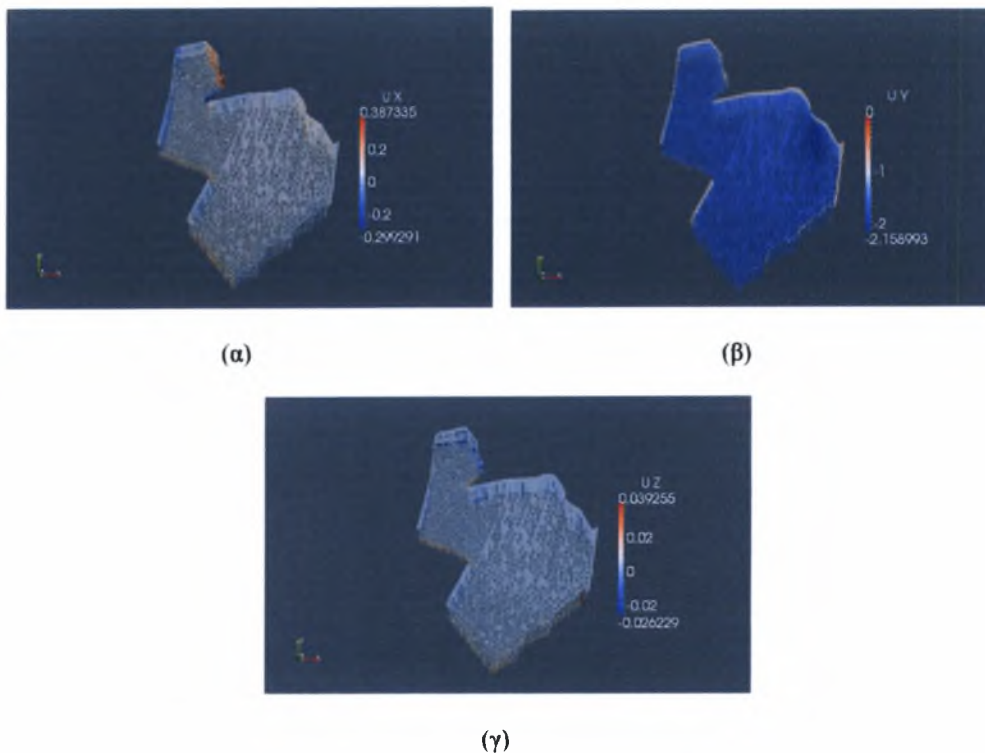


(ε)

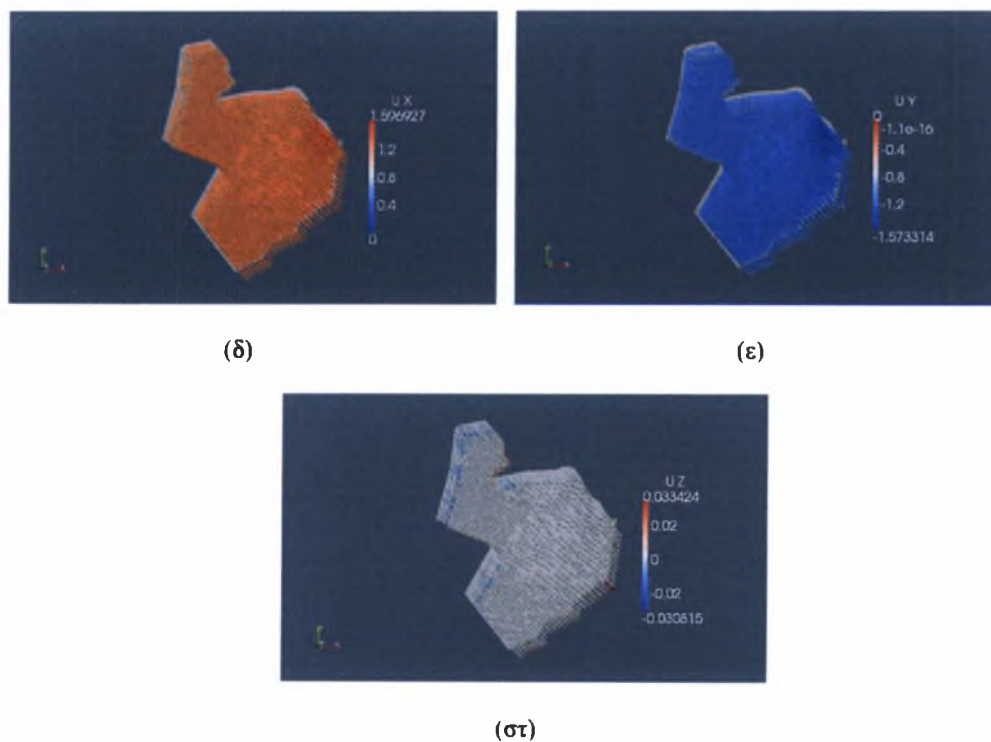


(στ)

Σχήμα: 33.25: Διανύσματα ροής στην δ) x-κατεύθυνση, ε) y-κατεύθυνση, στ) z-κατεύθυνση για ταχύτητα 10.0 m/sec, για Βορειοανατολικό άνεμο.

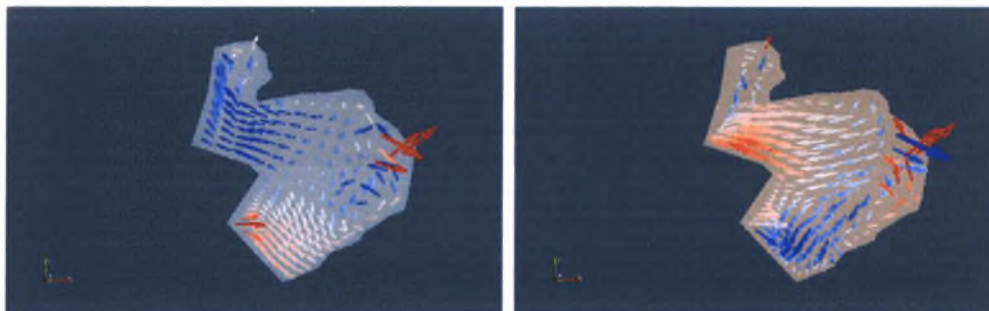


Σχήμα: 33.26: Διανύσματα ροής στην α) x-κατεύθυνση, β) y-κατεύθυνση, γ) z-κατεύθυνση για ταχύτητα 10.0 m/sec, για Βόρειο άνεμο.



Σχήμα: 33.27: Διανύσματα ροής στην δ) x-κατεύθυνση, ε) y-κατεύθυνση, στ) z-κατεύθυνση για ταχύτητα 10.0 m/sec, για Βορειοδυτικό άνεμο.

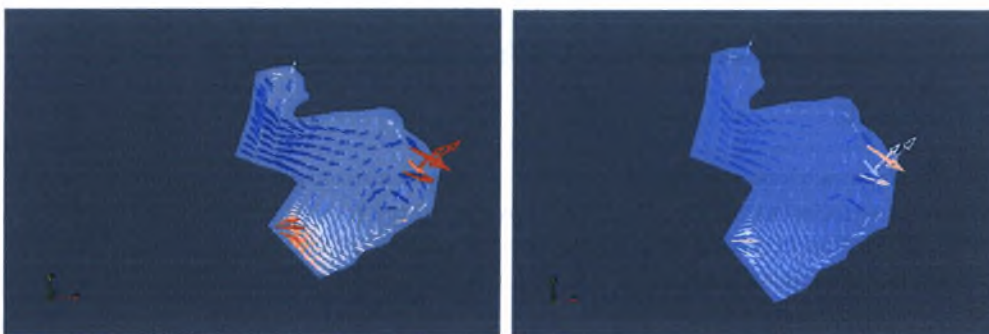
- Αξιοσημείωτα είναι και τα αποτελέσματα όπου παρατηρείται ανάλογα με την διεύθυνση του ανέμου η δυνατότητα δημιουργίας υδάτινων επιφανειακών ρευμάτων ανακυκλοφορίας σε διάφορες χρονικές στιγμές.



(α)

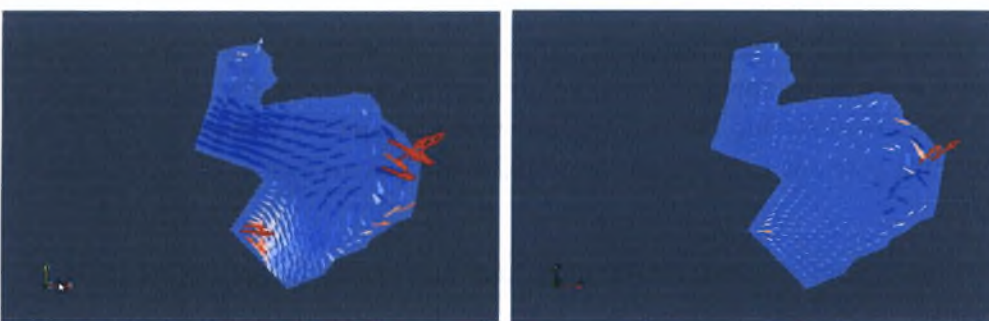
(β)

Σχήμα: 33.28: Παρατηρούνται (α) υδάτινα επιφανειακά ρεύματα ανακυκλοφορίας την χρονική στιγμή 170 sec για την x-κατεύθυνση για Δυτικό άνεμο, (β) και την χρονική στιγμή 120 sec για την y-κατεύθυνση για Δυτικό άνεμο.



(γ)

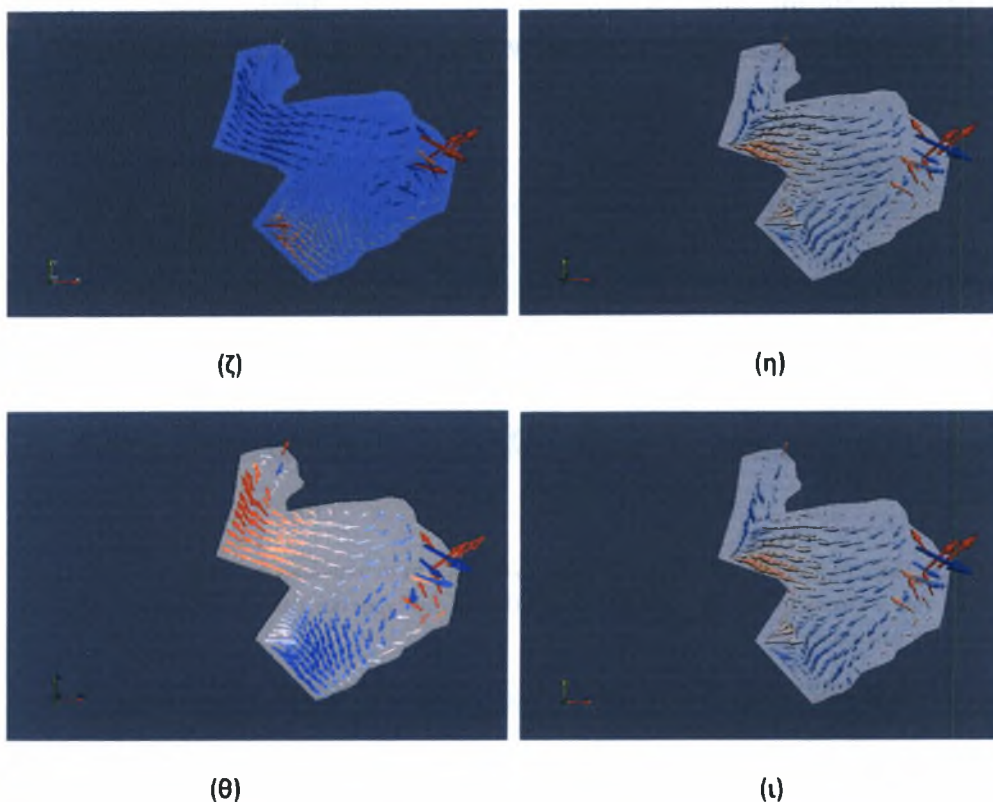
(δ)



(ε)

(στ)

Σχήμα: 33.29: Παρατηρούνται (γ) υδάτινα επιφανειακά ρεύματα ανακυκλοφορίας την χρονική στιγμή 165 sec για την x-κατεύθυνση για Βορειοδυτικό άνεμο, (δ) την χρονική στιγμή 170 sec για την x-κατεύθυνση για Νότιο άνεμο, (ε) την χρονική στιγμή 145 sec για την x-κατεύθυνση για Νοτιοανατολικό άνεμο και (στ) την χρονική στιγμή 545 sec για την x-κατεύθυνση για Ανατολικό άνεμο.



Σχήμα: 33.30: Παρατηρούνται (ζ) υδάτινα επιφανειακά ρεύματα ανακυκλοφορίας την χρονική στιγμή 165 sec για την x-κατεύθυνση για Βορειοανατολικό άνεμο, (η) την χρονική στιγμή 110 sec για την y-κατεύθυνση για Βορειοανατολικό άνεμο, (θ) την χρονική στιγμή 160 sec για την y-κατεύθυνση για Βόρειο άνεμο και (ι) την χρονική στιγμή 175 sec για την x-κατεύθυνση για Βορειοδυτικό άνεμο.

Όπως και στα προηγούμενα σχήματα έτσι και εδώ, παρατηρώντας τα διαγράμματα της ροής, προκύπτει ότι ανάλογα με την διεύθυνση του ανέμου υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας υδάτινων επιφανειακών ρευμάτων ανακυκλοφορίας. Τα ρεύματα αυτά ξεκινούν από την επιφάνεια αλλά εκτείνονται σχεδόν σε όλο το βάθος του ύδατος.

Η ροή στην επιφάνεια έχει μόνο μια διεύθυνση, αυτή του αέρα. Αυτό παρατηρείται σε αρκετές περιπτώσεις. Και στις τρεις ταχύτητες, 5m/s, 7.5m/s και 10.0m/s παρατηρούμε ότι στην x-κατεύθυνση για Δυτικό άνεμο, Νοτιοδυτικό και Βορειοδυτικό άνεμο, το νερό κινείται προς μια διεύθυνση αυτή του αέρα. Επίσης το ίδιο παρατηρείται και για τις τρεις ταχύτητες κατά την y-κατεύθυνση για Νοτιοδυτικό, Νότιο και Νοτιοανατολικό άνεμο.

Οριζόντια ρεύματα ανακυκλοφορίας παρατηρούνται κατά την x-κατεύθυνση για Βόρειο και Νότιο άνεμο για τις ταχύτητες 5m/s, 7.5 και 10.0 m/s. Στη y-κατεύθυνση έχουμε επίσης ρεύματα ανακυκλοφορίας για Δυτικό και Ανατολικό άνεμο και για τις τρεις ταχύτητες.

Παράλληλα με τα οριζόντια ρεύματα ανακυκλοφορίας δημιουργούνται και κάθετα υδάτινα ρεύματα. Παρατηρήθηκε η δημιουργία εγκάρσιων ρευμάτων που εκτείνονται σε όλο το πλάτος και το βάθος της λίμνης. Η κίνηση των υδάτινων ρευμάτων επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το βάθος και το περίγραμμα της λίμνης. Κάθετα λοιπόν ρεύματα ανακυκλοφορίας έχουμε σε όλες τις διευθύνσεις και εντάσεις του αέρα κατά την z-κατεύθυνση.

Αξιοσημείωτες είναι και οι περιπτώσεις όπου έχοντας προκαθορίσει τις διευθύνσεις του αέρα τα οριζόντια ρεύματα ανακυκλοφορίας κινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση. Τέτοια αποτελέσματα έχουμε κατά την x-κατεύθυνση για τις ταχύτητες 5m/s, 7.5 m/s 10.0m/s για Νοτιοανατολικό και Ανατολικό άνεμο. Για τις ταχύτητες 5m/s, 7.5m/s και 10.0m/s για Βορειοανατολικό άνεμο. Κατά την y-κατεύθυνση το νερό κινείται και εδώ προς την αντίθετη κατεύθυνση για τις ταχύτητες 5m/s, 7.5m/s και 10.0m/s για Βόρειο και Βορειοδυτικό άνεμο και τις ταχύτητες 7.5m/s και 10.0m/s για Βορειοανατολικό άνεμο.

Συμπεράσματα – Επίλογος

Στην αρχή της εκπόνησης της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, είχαν τεθεί οι εξής στόχοι:

- ✓ Η αξιολόγηση ενός νέου κώδικα για τη δημιουργία πλέγματος κατάλληλου για την προσομοίωση της υπό ανασύσταση λίμνης Κάρλα.
- ✓ Το “σύστημα” ενός εργαλείου αξιολόγησης για καλύτερα αποτελέσματα.
- ✓ Την αξιοποίηση των στοιχείων της γεωμετρίας της λίμνης με στόχο τον έλεγχο και τον καλύτερο υπολογισμό τους, ώστε η προσομοίωση της λίμνης να είναι επιτυχής.
- ✓ Σωστή λειτουργικότητα του μοντέλου, γεγονός που προέκυψε από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων με αποτελέσματα που έχουν πραγματοποιηθεί με το πρόγραμμα SSIIM.

Το πρόγραμμα OpenFoam είναι ένα αρκετά χρήσιμο εργαλείο, προσφέροντας τη δυνατότητα γένεσης πλέγματος για επίλυση ροής γύρω από απλές μέχρι και αρκετά πολύπλοκες γεωμετρίες σωμάτων. Ο βαθμός ελέγχου που έχει ο χρήστης πάνω στη μορφή του τελικού πλέγματος είναι πολύ ικανοποιητικός, κάτι που ωστόσο προϋποθέτει και κάποιο βαθμό εμπειρίας σε υπολογιστικά πλέγματα από τη μεριά του χρήστη, για να είναι αποτελεσματική η διαδικασία. Η ρύθμιση και η γεωμετρία του πλέγματος για τον κώδικα είναι αρκετά απλή (στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία χρησιμοποιήθηκε αραιό πλέγμα), τη στιγμή που η λειτουργικότητα των περισσότερων μεταβλητών ελέγχου είναι αρκετά εμφανής ακόμα και για κάποιο νέο χρήστη.

Επίσης ο χρόνος εκτέλεσης του κώδικα είναι ικανοποιητικός σε σύγκριση πάντα με τον χρόνο που χρειάζεται ο κώδικας επίλυσης στη συνέχεια για να συγκλίνει, οπότε μπορούμε να δουλέψουμε σε πυκνότερο πλέγμα επομένως σε μεγαλύτερο πεδίο μελέτης και πιο σύνθετη γεωμετρία. Θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε πυκνότερο πλέγμα για την προσομοίωση, ωστόσο αυτό δεν έγινε διότι επιθυμούσαμε μόνο να εξετάσουμε αν ο κώδικας δουλεύει σωστά. Το πυκνότερο πλέγμα παρουσιάζει μια μικρή δυσκολία, κάτι που μπορεί να εντοπιστεί σε κάποιο βαθμό αφού ο χρήστης έχει αποκτήσει κάποια περισσότερη εμπειρία στη χρήση του κώδικα και έχει πειραματιστεί με κάποιες από τις ρυθμίσεις.

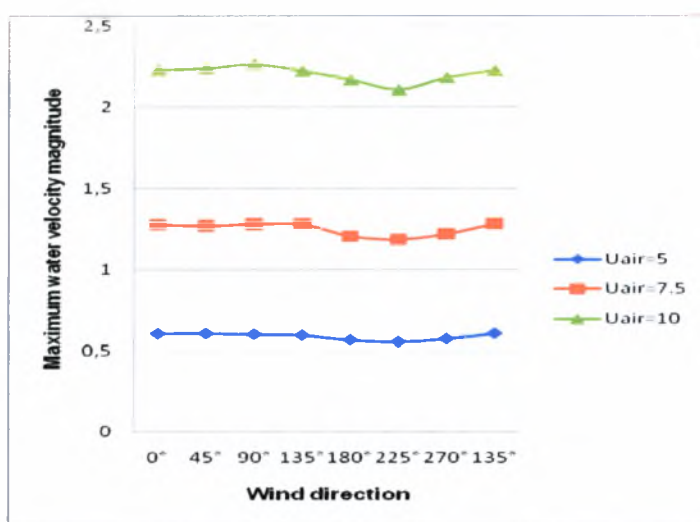
Ο κώδικας απαιτεί μεγάλο αποθηκευτικό χώρο του H/Y. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να χρειαστεί συνολικός αποθηκευτικός χώρος περίπου 41.1 Gb.

Αφού λοιπόν δημιουργήθηκε το κατάλληλο πλέγμα και περάστηκαν στο πρόγραμμα οι κατάλληλες εξισώσεις που έχουν αναφερθεί σε προηγούμενα κεφάλαια

και οι απαραίτητες συνοριακές συνθήκες, το πρόγραμμα ήταν έτοιμο για να τρέξει τις διάφορες περιπτώσεις, ώστε να βγουν τα αποτελέσματα.

Έτσι λοιπόν, συμπερασματικά, παρατηρώντας τα διαγράμματα της ροής προκύπτει ότι ανάλογα με τη διεύθυνση του ανέμου υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας υδάτινων επιφανειακών ρευμάτων ανακυκλοφορίας. Παράλληλα με τα οριζόντια ρεύματα ανακυκλοφορίας δημιουργούνται και κάθετα υδάτινα ρεύματα. Παρατηρήθηκε η δημιουργία μεγάλων εγκάρσιων ρευμάτων που εκτείνονται σε όλο το πλάτος και βάθος της λίμνης της μορφής που απεικονίζουν τα παραπάνω σχήματα στα οποία αναφερθήκαμε. Η κίνηση των υδάτινων ρευμάτων επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το βάθος και το περίγραμμα της λίμνης.

Μια σύνοψη των αποτελεσμάτων απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα που περιλαμβάνει τις μέγιστες αναπτυσσόμενες ταχύτητες του νερού της λίμνης για όλες τις εξεταζόμενες διευθύνσεις ανέμου και για διάφορες εντάσεις.



Σχήμα: 33.28: Διακύμανση της μέγιστης ταχύτητας του νερού της λίμνης (σε m/s) για διάφορες διευθύνσεις και εντάσεις του ανέμου.

Από το παραπάνω διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι, για ασθενείς ανέμους η ταχύτητα του αέρα επιδρά στη μέγιστη ταχύτητα του νερού σχεδόν γραμμικά. Έτσι για την ταχύτητα $U_{air}=5$ m/s η διεύθυνση του ανέμου έχει δευτερεύουσα επίδραση στη μέγιστη ταχύτητα του νερού.

Καθώς όμως η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται, όπως μπορούμε να δούμε για $U_{air}=7.5$ m/s και $U_{air}=10.0$ m/s, αυξάνεται και η ταχύτητα του νερού. Το περίγραμμα της λίμνης αρχίζει να έχει σημαντική επίδραση στην ταχύτητα του νερού ανάλογα με την κατεύθυνση του πνέοντα ανέμου.

Η επίδραση των ορίων της λίμνης απεικονίζεται από τη σχεδόν ημιτονοειδή μορφή διακύμανσης της ταχύτητας του νερού. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε και στο διάγραμμα, η κίνηση το νερού στη λίμνη είναι πιο αργή για τον Νοτιοδυτικό(45°), τον Νότιο (90°) και τον Βορειοανατολικό(225°) άνεμο.

Η κατανομή της μέσης τιμής της ταχύτητας κατά βάθος δίνει τη βασική δυναμική του ύδατος στη λίμνη. Επίσης η γνώση των ρευμάτων ροής είναι σημαντική για τον προσδιορισμό παραμέτρων όπως είναι οι ανακυκλοφορίες του νερού. Η επίδραση της διεύθυνσης του αέρα στην κατανομή τέτοιων ρευμάτων ροής είναι πολύ σημαντική. Στη συγκεκριμένη περίπτωση της λίμνης Κάρλας, η οποία είναι πολύ ρηχή και σταθερού ομοιόμορφου βάθους, τα ρεύματα του νερού ανάλογα με την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου είτε ακολουθούν την πορεία του ανέμου, είτε κινούνται, όπως είδαμε σε μερικές περιπτώσεις, με φορά αντίθετη, διαμορφώνοντας έτσι ένα σύστημα διπλής κυκλοφορίας. Αν και το νερό σε ορισμένες περιπτώσεις δεν ανακυκλοφορεί στην επιφάνεια, εντούτοις οριζόντια ανακυκλοφορία μπορεί να βρεθεί σε μεγαλύτερα βάθη.

Τέλος, η υπολογιστική ρευστομηχανική σε συνδυασμό με το πρόγραμμα OpenFoam αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για τη σωστή διαχείριση της λίμνης. Οι εφαρμογές του θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για το σχεδιασμό σύγχρονων υδραυλικών έργων στο μέλλον.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΑΡΧΕΙΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ OpenFoam

```

/*-----*- C++ -
*-----*\
| ===== |
| \ \      / F i e l d      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
| \ \      / O p e r a t i o n      | Version:  1.7.1
| \ \      / A n d      | Web:      www.OpenFOAM.com
| \ \ /      M a n i p u l a t i o n      |
|-----*\
FoamFile
{
    version      2.0;
    format        ascii;
    class         volScalarField;
    location      "0";
    object        k;
}
// * * * * *
* * * * *

dimensions      [0 2 -2 0 0 0 0];

internalField    uniform 0.00325;
//internalField    uniform 0;

boundaryField
{
    topWall
    {
//      type          fixedValue;
//      value          uniform 0.00325;
      type          zeroGradient;
    }

    fixedWalls
    {
      type          zeroGradient;
    }
}

//
*****
**** //

```

```

/*-----*- C++ -
*-----*\
| ===== |
| \\      / F ield      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
| \\      / O peration  | Version:  1.7.1
|  \\    /  A nd        | Web:      www.OpenFOAM.com
|   \\/    M anipulation |
|-----*
-----*/
FoamFile
{
    version      2.0;
    format       ascii;
    class        volScalarField;
    location     "0";
    object       epsilon;
}
// * * * * *
* * * * * //

dimensions      [0 2 -3 0 0 0 0];

internalField   uniform 0.000765;
//internalField uniform 0;

boundaryField
{
    topWall
    {
//          type          fixedValue;
//          value          uniform 0.000765;
        type          zeroGradient;
    }

    fixedWalls
    {
        type          zeroGradient;
    }
}

//
*****
**** //

```

```

/*-----*- C++ -
*-----*\
| ===== |
| \ \      / F i e l d      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
| \ \      / O p e r a t i o n      | Version:  1.7.1
| \ \      / A n d      | Web:      www.OpenFOAM.com
| \ \ /      M a n i p u l a t i o n      |
|-----*\
-----*/
FoamFile
{
    version      2.0;
    format       ascii;
    class        volScalarField;
    location     "0";
    object       nut;
}
// * * * * *
* * * * * //

dimensions      [0 2 -1 0 0 0 0];

internalField    uniform 0;

boundaryField
{
    topWall
    {
        type      calculated;
        value      uniform 0;
    }

    fixedWalls
    {
        type      nutkWallFunction;
        value      uniform 0;
    }
}

//
*****
**** //

```

```

/*-----*- C++ -
*-----*\
| ===== |
| \ \      / F i e l d      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
| \ \      / O p e r a t i o n      | Version:  1.7.1
| \ \      / A n d      | Web:      www.OpenFOAM.com
| \ \ /      M a n i p u l a t i o n      |
|-----*\
-----*/
FoamFile
{
    version      2.0;
    format       ascii;
    class        volScalarField;
    object       p;
}
// *****
***** //

dimensions      [0 2 -2 0 0 0 0];

internalField   uniform 0;

boundaryField
{
    topWall
    {
        type      fixedValue;
        value      uniform 0;
    }

    fixedWalls
    {
        type      zeroGradient;
    }
}

//
*****
***** //

```



```

/*-----*- C++ -
*-----*\
| ===== |
| \ \      / F i e l d      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
| \ \      / O p e r a t i o n      | Version:  1.7.1
| \ \      / A n d      | Web:      www.OpenFOAM.com
| \ \ /      M a n i p u l a t i o n      |
|-----*\
-----*/
FoamFile
{
    version      2.0;
    format      ascii;
    class      volVectorField;
    object      U;
}
// * * * * *
* * * * * //

dimensions      [0 1 -1 0 0 0 0];

internalField    uniform (0 0 0);

boundaryField
{
    //      topWall
    //      {
    //          type      fixedValue;
    //          value      uniform (0.003 0 0);
    //      }

    topWall
    {
        type directionMixed;
        refValue uniform (0 0 0);
        refGradient uniform (0.0294112 -0.0294112 0);
        valueFraction uniform (0 0 0 0 0 1);
    }

    fixedWalls
    {
        type      fixedValue;
        value      uniform (0 0 0);
    }
}

//
*****
**** //

```

```

/*-----*- C++ -
*-----*\
| ===== |
| \ \      /  F i e l d      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
| \ \      /  O p e r a t i o n      | Version:  1.7.1
| \ \      /  A n d      | Web:      www.OpenFOAM.com
| \ \ /      M a n i p u l a t i o n      |
|-----*\
-----*/
FoamFile
{
    version      2.0;
    format        ascii;
    class         dictionary;
    object        blockMeshDict;
}
// * * * * *
* * * * //

convertToMeters 1000.;

vertices
(
    (2.418 3.874 0)//12 changed x,y
    (4.155 1.659 0)//13 changed x,y
    (1.291 6.774 0)//14 changed x,y
    (3.116 6.032 0)//15 changed x,y
    (3.416 5.678 0)//16 changed x,y
    (6.687 3.519 0)//17 changed x,y
    (1.799 8.696 0)//18 changed x,y
    (3.343 8.392 0)//19 changed x,y
    (4.731 8.683 0)//20 changed x,y
    (8.318 6.854 0)//21 changed x,y
    (2.004 10.373 0)//22 changed x,y
    (3.627 10.148 0)//23 changed x,y
    (2.419 3.876 0.003)//0
    (4.157 1.660 0.003)//1
    (1.291 6.777 0.003)//2
    (3.118 6.035 0.003)//3
    (3.418 5.681 0.003)//4
    (6.690 3.521 0.003)//5
    (1.800 8.700 0.003)//6
    (3.345 8.396 0.003)//7
    (4.733 8.687 0.003)//8
    (8.322 6.857 0.003)//9
    (2.005 10.378 0.003)//10
    (3.629 10.153 0.003)//11
);

blocks
(
    hex (0 1 5 4 12 13 17 16) (20 20 20) simpleGrading (1 1 1)
    hex (2 3 7 6 14 15 19 18) (20 20 20) simpleGrading (1 1 1)
    hex (3 4 8 7 15 16 20 19) (10 20 20) simpleGrading (1 1 1)
    hex (4 5 9 8 16 17 21 20) (20 20 20) simpleGrading (1 1 1)
    hex (6 7 11 10 18 19 23 22) (20 20 20) simpleGrading (1 1 1)
);

edges
(
    polyLine 1 5 (

```

```

(4.325 1.659 0)
(4.610 1.908 0)
(5.218 2.118 0)
(5.437 2.408 0)
(5.534 2.714 0)
(6.541 3.181 0)
)
polyLine 13 17 (
(4.327 1.660 0.003)
(4.612 1.909 0.003)
(5.221 2.119 0.003)
(5.440 2.409 0.003)
(5.537 2.715 0.003)
(6.544 3.183 0.003)
)
polyLine 5 9 (
(7.376 4.019 0)
(7.742 4.389 0)
(7.977 4.317 0)
)
polyLine 17 21 (
(7.380 4.021 0.003)
(7.746 4.391 0.003)
(7.981 4.319 0.003)
)
polyLine 9 8 (
(8.091 6.725 0)
(7.696 7.396 0)
(7.696 7.425 0)
(7.044 7.868 0)
(7.019 8.304 0)
(6.655 8.812 0)
(6.257 8.932 0)
(6.078 8.771 0)
(4.731 8.683 0)
)
polyLine 21 20 (
(8.095 6.728 0.003)
(7.700 7.400 0.003)
(7.770 7.429 0.003)
(7.048 7.872 0.003)
(7.023 8.308 0.003)
(6.658 8.816 0.003)
(6.260 8.936 0.003)
(6.081 8.775 0.003)
(4.733 8.687 0.003)
)
polyLine 7 11 (
(3.285 8.782 0)
(3.885 9.314 0)
(3.666 9.611 0)
)
polyLine 19 23 (
(3.288 8.791 0.003)
(3.889 9.323 0.003)
(3.670 9.621 0.003)
)
polyLine 11 10 (
(3.181 10.704 0)
(2.134 10.486 0)
)
polyLine 23 22 (
(3.183 10.709 0.003)
(2.135 10.491 0.003)
)
);

```

```

patches
(
  wall fixedWalls
  (
    (6 18 22 10)
    (2 14 18 6)
    (3 15 14 2)
    (4 16 15 3)
    (0 12 16 4)
    (1 13 12 0)
    (5 17 13 1)
    (9 21 17 5)
    (8 20 21 9)
    (7 19 20 8)
    (11 23 19 7)
    (10 22 23 11)
    (0 1 5 4)
    (4 5 9 8)
    (3 4 8 7)
    (2 3 7 6)
    (6 7 11 10)
  )
  patch topWall
  (
    (22 23 19 18)
    (18 19 15 14)
    (19 20 16 15)
    (20 21 17 16)
    (16 17 13 12)
  )
);
mergePatchPairs
(
);

//
*****
**** //

```

```

/*-----*- C++ -
*-----*\
| ===== |
| \\      / F i e l d      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
| \\      / O p e r a t i o n      | Version:  2.0.0
|   \\    / A n d      | Web:      www.OpenFOAM.com
|   \\/    M a n i p u l a t i o n      |
|-----*\
-----*/
FoamFile
{
    version      2.0;
    format        ascii;
    class        polyBoundaryMesh;
    location      "constant/polyMesh";
    object        boundary;
}
// * * * * *
* * * * * //

2
(
    fixedWalls
    {
        type            wall;
        nFaces           6200;
        startFace        104000;
    }
    topWall
    {
        type            patch;
        nFaces           1800;
        startFace        110200;
    }
}

//
*****
**** //

```



```

/*-----*- C++ -
*-----*\
| ===== |
| \\      / F i e l d      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
| \\      / O p e r a t i o n      | Version:  1.7.1
| \\      / A n d      | Web:      http://www.OpenFOAM.com
|  \\/      M a n i p u l a t i o n      |
|-----*\
-----*/
FoamFile
{
    version      2.0;
    format      ascii;
    class      dictionary;
    object      transportProperties;
}
// * * * * *
* * * * * //

transportModel  Newtonian;

// Laminar viscosity
nu              nu [0 2 -1 0 0 0 0] 1.307e-06;

// Laminar Prandtl number
Pr              Pr [0 0 0 0 0 0 0] 0.9;

// Turbulent Prandtl number
Prt             Prt [0 0 0 0 0 0 0] 0.7;

//
*****
**** //

```

```

Info<< "Reading field p\n" << endl;
volScalarField p
(
    IOobject
    (
        "p",
        runTime.timeName(),
        mesh,
        IOobject::MUST_READ,
        IOobject::AUTO_WRITE
    ),
    mesh
);

Info<< "Reading field U\n" << endl;
volVectorField U
(
    IOobject
    (
        "U",
        runTime.timeName(),
        mesh,
        IOobject::MUST_READ,
        IOobject::AUTO_WRITE
    ),
    mesh
);

dimensionedVector Omega
(
    "Omega",
    dimensionSet(0, 0, -1, 0, 0),
    vector(0, 0, 7.2921e-05)
);

// Calculate the centrifugal force
volVectorField Fcent = (Omega ^ (Omega ^ mesh.C()));

#include "createPhi.H"

label pRefCell = 0;
scalar pRefValue = 0.0;
setRefCell(p, mesh.solutionDict().subDict("SIMPLE"), pRefCell,
pRefValue);

singlePhaseTransportModel laminarTransport(U, phi);

autoPtr<incompressible::RASModel> turbulence
(
    incompressible::RASModel::New(U, phi, laminarTransport)
);

// kinematic turbulent thermal conductivity m2/s
Info<< "Reading field kappat\n" << endl;
volScalarField kappat
(
    IOobject
    (
        "kappat",
        runTime.timeName(),
        mesh,
        IOobject::MUST_READ,
        IOobject::AUTO_WRITE
    ),

```

```

        mesh
    );

Info<< "Reading field T\n" << endl;
volScalarField T
(
    IOobject
    (
        "T",
        runTime.timeName(),
        mesh,
        IOobject::MUST_READ,
        IOobject::AUTO_WRITE
    ),
    mesh
);

// Laminar Prandtl number
dimensionedScalar Pr(laminarTransport.lookup("Pr"));

// Turbulent Prandtl number
dimensionedScalar Prt(laminarTransport.lookup("Prt"));

// dimensionedScalar Beta(laminarTransport.lookup("Beta"));
// dimensionedScalar as(laminarTransport.lookup("as"));
// dimensionedScalar al(laminarTransport.lookup("al"));
// dimensionedScalar b(laminarTransport.lookup("b"));
// dimensionedScalar n(laminarTransport.lookup("n"));
// dimensionedScalar N(laminarTransport.lookup("N"));
// dimensionedScalar q0(laminarTransport.lookup("q0"));
// dimensionedScalar eta(laminarTransport.lookup("eta"));

// volVectorField q = (1-Beta)*(1-as)*(al+b*n/N)*q0*exp(-eta*pos
// (.z)

// volScalarField q
// (
//     IOobject
//     (
//         "q",
//         runTime.timeName(),
//         mesh,
//         IOobject::NO_READ,
//         IOobject::AUTO_WRITE
//     ),
//     mesh.C().component(2)
// );
// volScalarField q = mesh.C().component(2); //(1-Beta)*(1-as)*
// (al+b*n/N)*q0*exp(-eta*pos().z)

volScalarField z = mesh.C().component(vector::Z);
// dimensionedScalar q("q", exp(z));
volScalarField q = exp(z);

```

```

// Momentum predictor

tmp<fvVectorMatrix> UEqn
(
    fvm::div(phi, U)
    + turbulence->divDevReff(U)
    + (2*Omega ^ U) // Coriolis force
    + Fcent
);

UEqn().relax();

solve(UEqn() == -fvc::grad(p));

```

```

/*-----*- C++ -
*-----*\
|=====|
| \ \      /  F i e l d      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
| \ \      /  O p e r a t i o n      | Version:  2.0.0
| \ \      /  A n d      | Web:      www.OpenFOAM.com
| \ \ /      M a n i p u l a t i o n      |
|-----*\
*-----*/
FoamFile
{
    version      2.0;
    format        ascii;
    class         dictionary;
    location      "system";
    object        fvSolution;
}
// * * * * *
* * * * * //

solvers
{
    p
    {
        solver          PCG;
        preconditioner    DIC;
        tolerance        1e-06;
        relTol            0.01;
    }

    U
    {
        solver          PBiCG;
        preconditioner    DILU;
        tolerance        1e-05;
        relTol            0.1;
    }

    T
    {
        solver          PBiCG;
        preconditioner    DILU;
        tolerance        1e-05;
        relTol            0.1;
    }

    k
    {
        solver          PBiCG;
        preconditioner    DILU;
        tolerance        1e-05;
        relTol            0.1;
    }

    epsilon
    {
        solver          PBiCG;
        preconditioner    DILU;
        tolerance        1e-05;
        relTol            0.1;
    }
}

```



```

R
{
    solver          PBiCG;
    preconditioner   DILU;
    tolerance        1e-05;
    relTol           0.1;
}

nuTilda
{
    solver          PBiCG;
    preconditioner   DILU;
    tolerance        1e-05;
    relTol           0.1;
}
}

SIMPLE
{
    nNonOrthogonalCorrectors 4;

    residualControl
    {
        p          1e-2;
        U          1e-3;
        "(k|epsilon|omega)" 1e-3;
    }
}

relaxationFactors
{
    p          0.3;
    U          0.7;
    k          0.7;
    epsilon    0.7;
    R          0.7;
    nuTilda    0.7;
}

//
*****
***** //

```

```

/*-----*- C++ -
*-----*\
|=====|
| \ \      /  F i e l d      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
| \ \      /  O p e r a t i o n      | Version:  1.7.1
| \ \      /  A n d      | Web:      http://www.OpenFOAM.com
| \ \ /      M a n i p u l a t i o n      |
|-----*\
-----*/
FoamFile
{
    version      2.0;
    format        ascii;
    class         dictionary;
    object        fvSchemes;
}
// * * * * *
* * * * * //

ddtSchemes
{
    default          steadyState;
}

gradSchemes
{
    default          Gauss linear;
    grad(p)          Gauss linear;
    grad(U)          Gauss linear;
}

divSchemes
{
    default          none;
    div(phi,T)       Gauss upwind;
    div(phi,U)       Gauss upwind grad(U);
    div((nuEff*dev(T(grad(U)))) Gauss linear;
    div(phi,epsilon) Gauss upwind;
    div(phi,k)       Gauss upwind;
}

laplacianSchemes
{
    default          Gauss linear limited 0.333;
}

interpolationSchemes
{
    default          linear;
}

snGradSchemes
{
    default          limited 0.333;
}

fluxRequired
{
    default          no;
    p;
}

```

//

***** //

```

/*-----*- C++ -
*-----*\
| ===== |
| \ \      / F i e l d      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
| \ \      / O p e r a t i o n      | Version:  1.7.1
| \ \      / A n d      | Web:      http://www.OpenFOAM.com
| \ \ /      M a n i p u l a t i o n      |
|-----*\
-----*/
FoamFile
{
    version      2.0;
    format       ascii;
    class        dictionary;
    object       controlDict;
}
// * * * * *
* * * * * //

application      simpleFoam;

startFrom        latestTime;

startTime        0;

stopAt           endTime;

endTime          1000;

deltaT           0.1;

writeControl      timeStep;

writeInterval     200;

purgeWrite        0;

writeFormat       ascii;

writePrecision    12;

writeCompression  uncompressed;

timeFormat        general;

timePrecision     6;

runTimeModifiable yes;

//
*****
**** //

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ – ΚΕΙΜΕΝΑ – ΝΤΟΚΟΥΜΕΝΤΑ

Η περιοχή Κάρλα στο χάρτη.

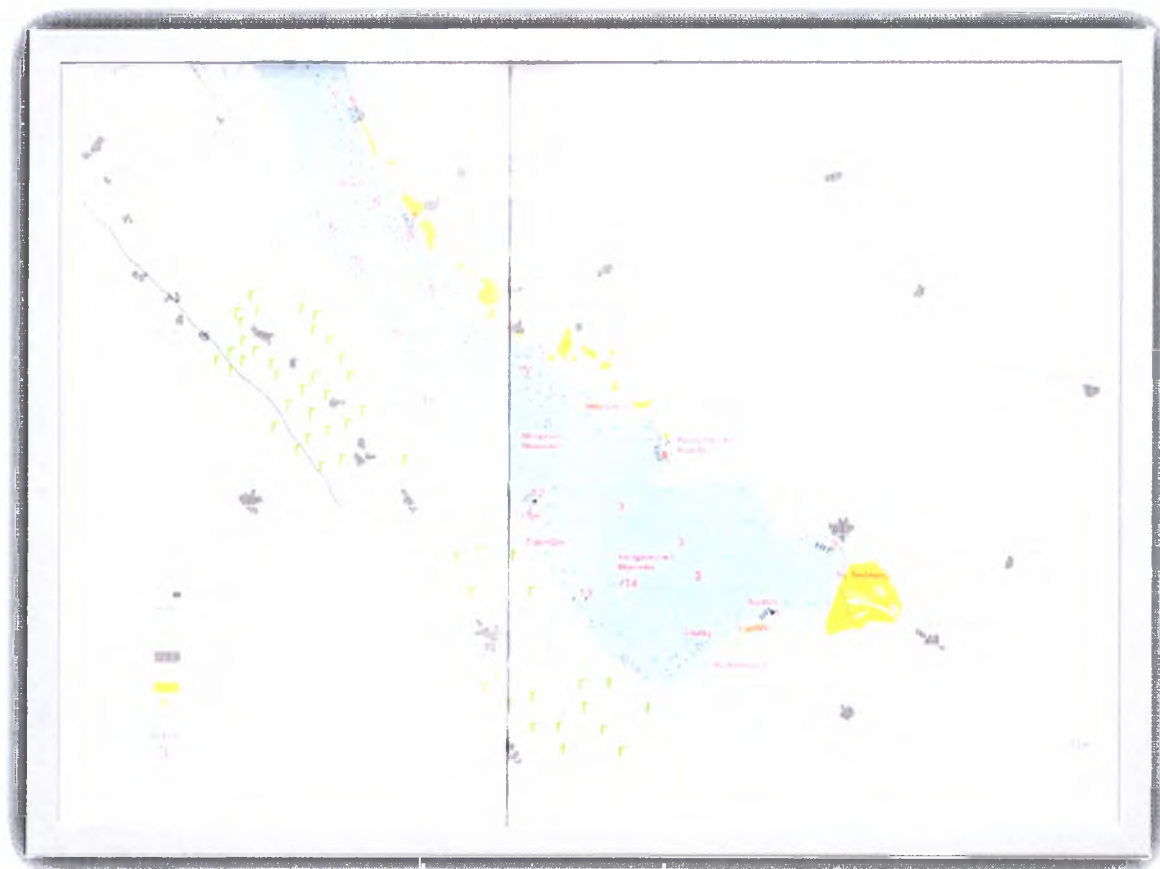


Χάρτης Κάρλας Χκ1. Η λίμνη και η παραλίμνια περιοχή στις αρχές του 20ού αιώνα.



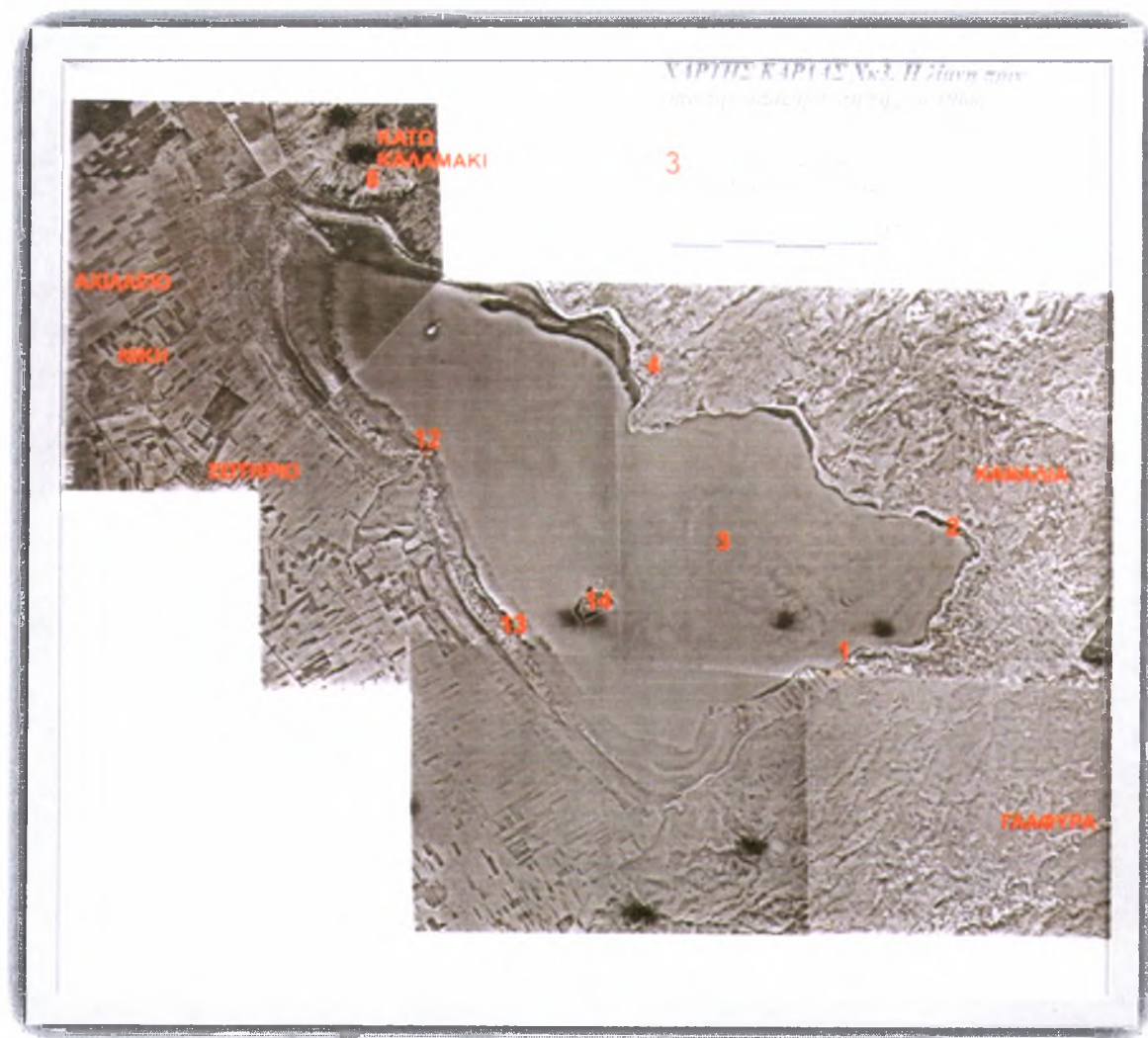
Πηγές: ΓΥΣ (1970 -86) Χάρτης Ελλάδος κλ. 1:50 000, ΧΥΣ (1905 – 1917) Χάρτης Ελληνικού Βασιλείου κλ. 1: 75 000.

Χάρτης Κάρλας Χκ2. Οι κύριες χρήσεις της λίμνης και της παραλίμνιας περιοχής στα μέσα του 20ού αιώνα. Αλιευτική περιοχή και τοπωνύμια.



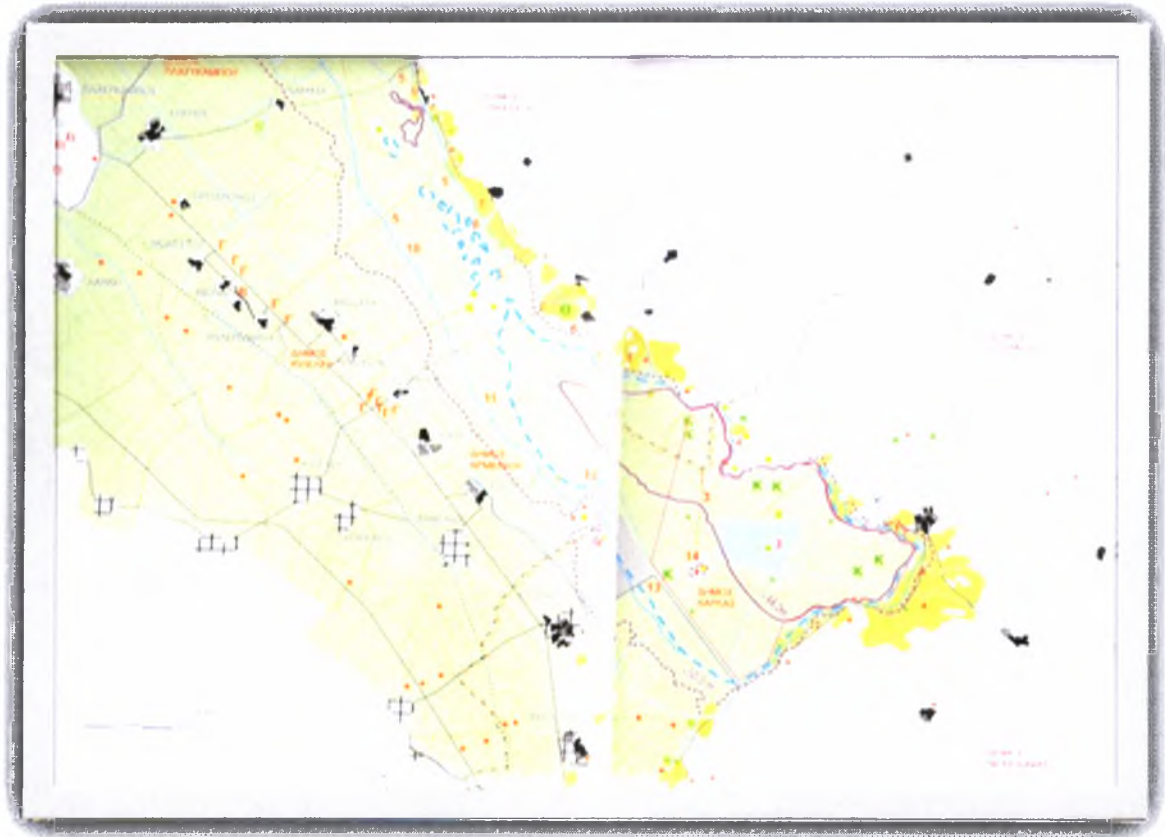
Πηγές: Αλιείς Καναλίων – Αμυγδαλής – Καλαμακίου – Στεφανοβικείου: Προφορικές πληροφορίες 1997- 98, ΓΥΣ (1935- 39) Χάρτης Ελλάδος κλ. 1:100 000, ΓΥΣ (1945) Χάρτης Ελλάδος κλ.1:50 000, Εξαρχόπουλος (1995) " Λίμνη Κάρλα. Η παράξενη πολιτεία του νερού ", Ζιώγας (1997). Προφορικές πληροφορίες – ζωγραφικοί πίνακες – τοιχογραφίες, Λέτσιος (1950) φωτογραφίες Κάρλας, Τλούπας (1952 – 53, 1960 – 64) φωτογραφίες Κάρλας.

Χάρτης Κάρλας Χκ3. Η λίμνη πριν από την αποξήρανσή της το 1960
(Θέση αλιευτικής περιοχής).



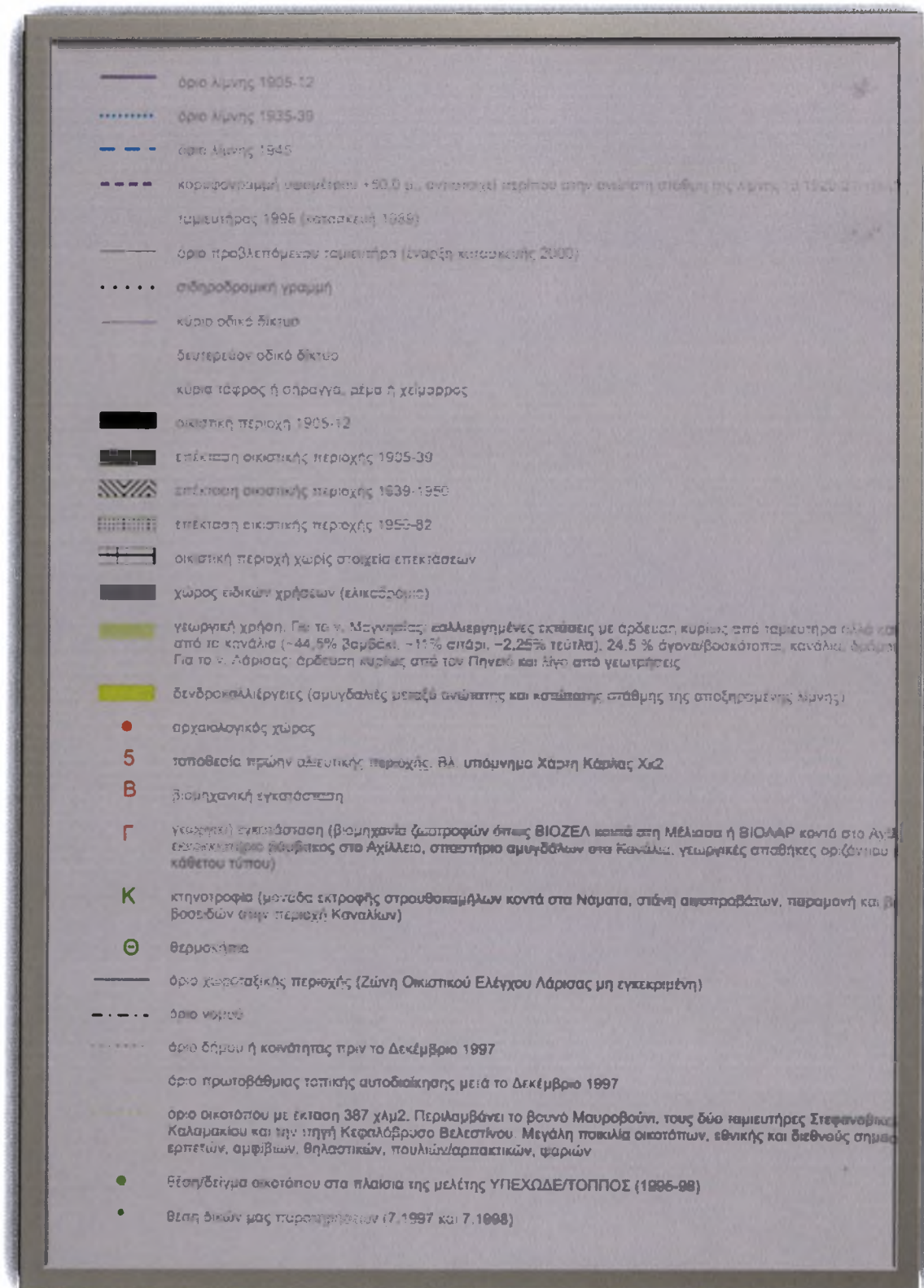
Πηγή: ΓΥΣ 1960 Αεροφωτογραφίες κλ. 1: 30 000.

Χάρτης Κάρλας Χκ4. Οι κύριες χρήσεις στην ευρύτερη περιοχή της αποξηραμένης λίμνης σήμερα. Περιβαλλοντικά, διοικητικά και χωροταξικά όρια. Οικιστική εξέλιξη.



Πηγές: ΓΥΣ (1970 – 86) Χάρτης Ελλάδος κλ. 1: 50 000, ΓΥΣ (1945) Χάρτης Ελλάδος κλ. 1: 50 000, ΓΥΣ (1935-39) Χάρτης Ελλάδος κλ. 1: 100 000, ΓΥΣ (1922) Χάρτης της Ελληνικής Δημοκρατίας κλ. 1: 75 000, Δ/ση Γεωργίας ν. Μαγνησίας (1997) Προφορικές Πληροφορίες, Επιτόπιες αναγνωρίσεις Ιουλίου 1997 και Ιουλίου 1998, ΕΣΥΕ (1997) Διοικητικά όρια Ελλάδας – Χάρτης κλ. 1: 50 000, ΤΕΕ – ΤΜ Θεσσαλίας (1993) Μελέτη για την ΖΟΕ Λάρισας, ΤΟΕΒ Μαγνησίας (1998) Προφορικές πληροφορίες, ΥΠΕΧΩΔΕ – ΤΟΠΠΟΣ (1995) Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων και επανορθωτικών μέτρων από τη κατασκευή και λειτουργία του ταμιευτήρα Κάρλας..., ΥΠΕΧΩΔΕ (1997) Φυσικοί οικότοποι – Προτάσεις για το εγχειρίδιο οικολογικών ενδιατημάτων της Ευρωπαϊκής Ένωσης – Λίστα NATURA 2000, ΧΥΣ (1912) Χάρτης Ελληνικού Βασιλείου κλ. 1: 75 000.

Υπόμνημα του χάρτη Κάρλας.



Γεωργικές καλλιέργειες και κτηνοτροφία στη σημερινή Κάρλα.



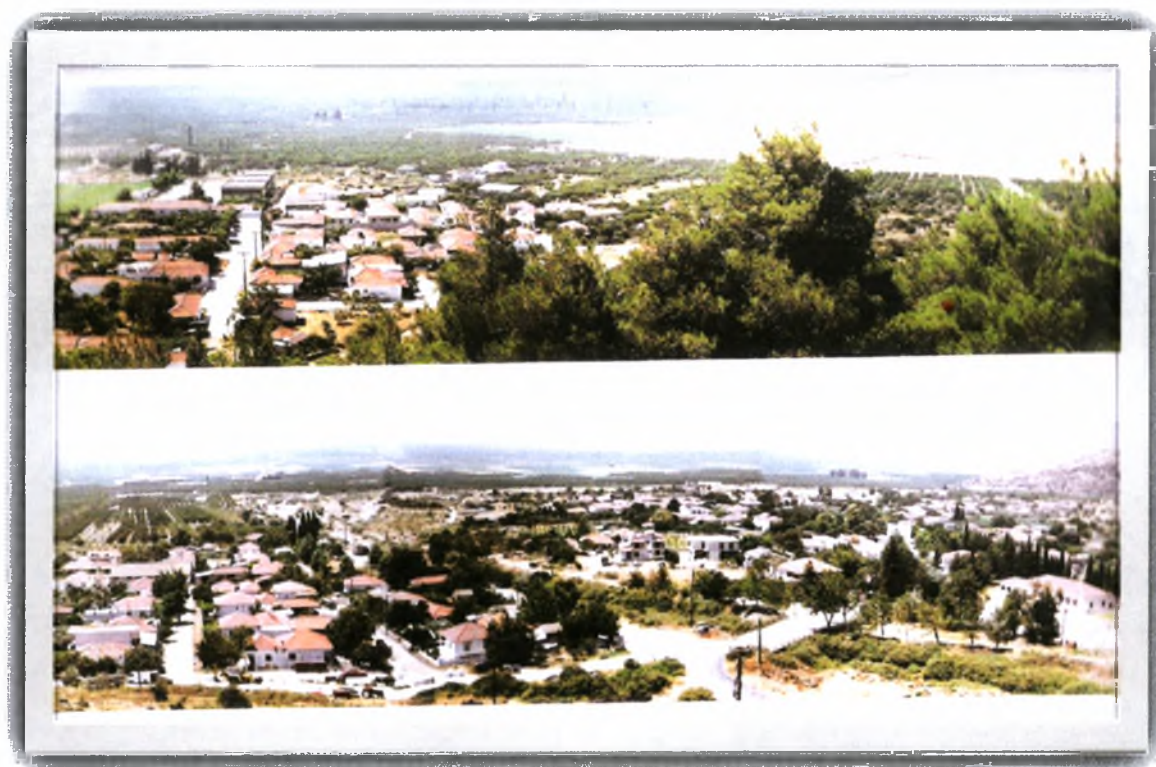
(φωτογράφιση Κ. Αβδελίδη, 1997 – 98)

Οδικό και αρδευτικό δίκτυο εντός της αποξηραμένης Κάρλας.



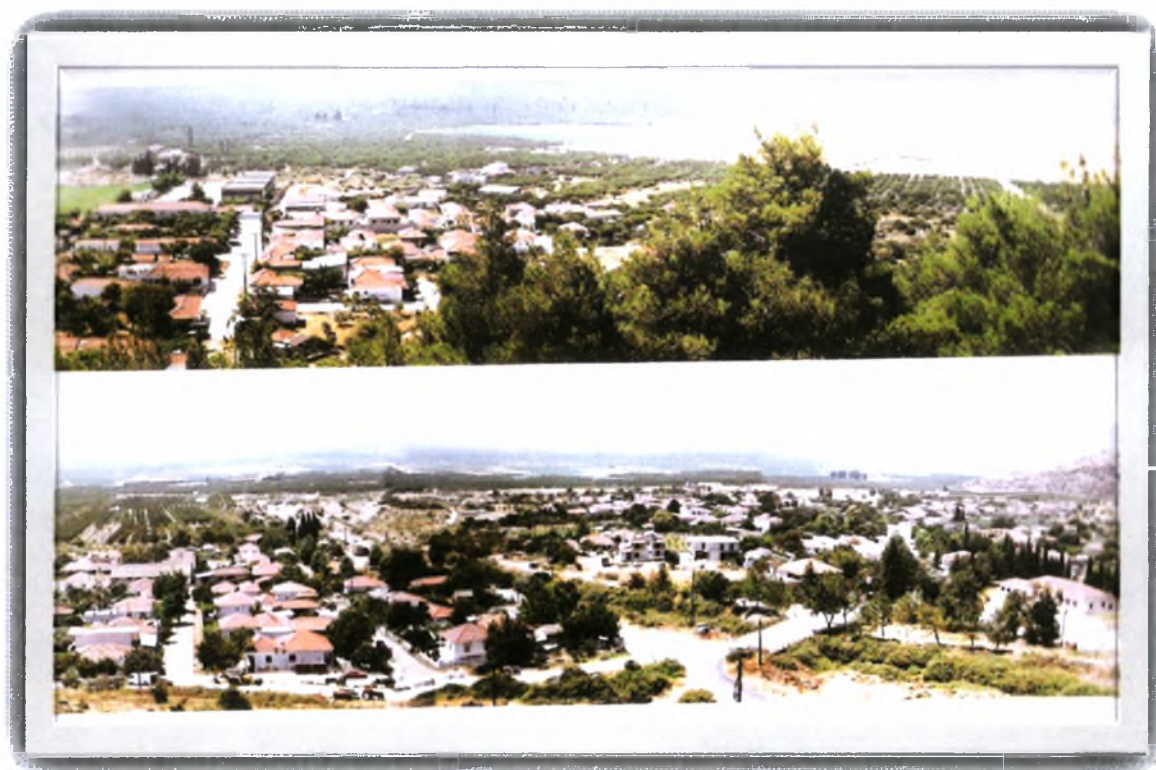
(φωτογράφιση Κ. Αβδελίδη, 1997 – 98)

Παρακάρλιοι και ορεινοί οικισμοί της Β-Δ όχθης και παρακάρλιοι
της Ν-Α όχθης της σημερινής Κάρλας.



(φωτογράφιση Κ. Αβδελίδη, 1997 – 98)

Παρακάρλιοι και ορεινοί οικισμοί της Β-Δ όχθης και παρακάρλιοι
της Ν-Α όχθης της σημερινής Κάρλας.



(φωτογράφιση Κ. Αβδελίδη, 1997 – 98)

<< Μουσειακή>> αναβίωση της αλιευτικής δραστηριότητας σήμερα στην Κάρλα.



19



20



21

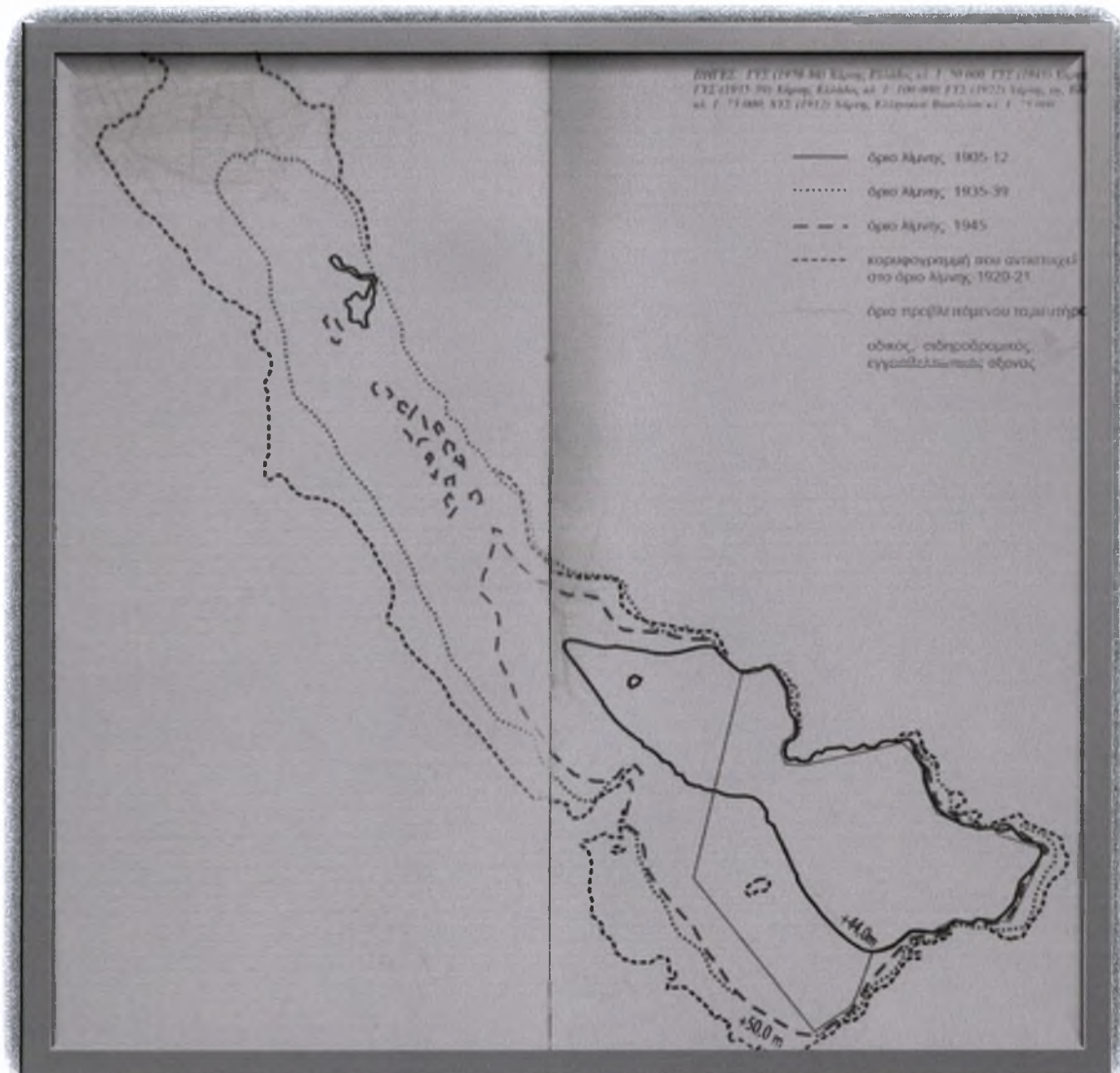


22



(φωτογράφιση Κ. Αβδελίδη, 1997 – 98)

Χάρτης Κάρλας Χκ5. Οι μεταβολές των ορίων της πρώην λίμνης Κάρλας κατά τον 20ό αιώνα και το οδικό, σιδηροδρομικό και εγγειοβελτιωτικό δίκτυο στην ευρύτερη περιοχή της αποξηραμένης λίμνης σήμερα.



Πηγές: ΓΥΣ (1970 – 86) Χάρτης Ελλάδος κλ. 1: 50 000, ΓΥΣ (1945) Χάρτης Ελλάδος κλ. 1: 50 000, ΓΥΣ (1935 – 39) Χάρτης Ελλάδος κλ. 1: 100 000, ΓΥΣ (1922) Χάρτης της Ελληνικής Δημοκρατίας κλ. 1: 75 000, ΧΥΣ (1912) Χάρτης Ελληνικού Βασιλείου κλ. 1: 75 000.

Εισροές στο σύστημα

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται οι ποσότητες λιπασμάτων που διανέμονται στην περιοχή, σύμφωνα με τις οδηγίες της Δ/νσεως Γεωργίας. Επίσης φαίνονται οι συνολικές ποσότητες λιπασμάτων μετά την κατασκευή του ταμιευτήρα, οι ποσότητες φαρμάκων που εκτιμάται ότι διανέμονται στην περιοχή και η εκτιμώμενη ποσότητα κάθε ουσίας φαρμάκου ανά καλλιέργεια.

καλλιέργεια	Συλλεγμένο σπόριο	Ποσότητα σπορίου	Ποσότητα επισπορίου	Ποσότητα επισπορίου	Καπνός	Βελόνη	Ζυγαριά	Φυλάκιο	Α.Α.Α.	Ποσότητα Α.Α.Α.	Αποθήκη	Σύνολο
σποριο	108.110	22.430	1.900	115	13.000	119.121	8.449	7.077	616	23.279	158	304.255
σποριο Ν.Α.Α.Α.	1.630.150	334.896	62.700	345	39.000	1.786.815	118.286	60.640	10.473	1.95.370	2.400	1.741.473
σποριο Ν.Α.Α.Α. μέγ.	1.944.180	334.896	62.700	345	65.000	2.382.430	118.286	60.640	11.819	1.617.555	2.400	2.001.544
σποριο Ν.Α.Α.Α. μέγ.	2.592.240	334.896	62.700	345	65.000	2.382.430	135.181	60.640	11.819	1.617.555	2.400	2.699.399
σποριο Φθινόπωρο	972.090	252.736	0	345	39.000	0	0	30.330	1.890	0	0	1.241.071
σποριο Φθινόπωρο μέγ.	1.296.120	252.736	0	345	65.000	0	0	30.330	1.890	0	0	1.646.401
σποριο Ανοιξιάτικο	0	0	30.400	0	0	1.548.573	84.490	0	8.884	648.370	2.400	2.292.817
σποριο Ανοιξιάτικο μέγ.	0	0	30.400	0	0	2.382.430	84.490	0	9.969	1.617.555	2.400	2.001.544
σποριο Ν.Α.Α.Α.Α.	664.080	195.874	32.300	0	0	0	50.694	60.640	0	0	0	1.311.884
σποριο Ν.Α.Α.Α.Α. μέγ.	1.512.140	195.874	32.300	0	0	0	50.694	60.640	0	0	0	1.851.944
σποριο Ανοιξιάτικο Φθινόπωρο	540.050	120.367	0	920	104.000	0	0	21.270	210	0	0	759.817
σποριο Ανοιξιάτικο Φθινόπωρο μέγ.	756.070	120.367	0	920	104.000	0	0	21.270	210	0	0	1.005.807
σποριο Ανοιξιάτικο Ανοιξιάτικο	0	0	15.200	0	104.000	714.726	42.245	18.842	12.976	165.580	790	1.021.461
σποριο Ανοιξιάτικο Ανοιξιάτικο μέγ.	0	0	15.200	0	104.000	1.191.210	42.245	18.842	13.246	165.580	790	1.811.104
σποριο Ανοιξιάτικο Ανοιξιάτικο	0	0	15.200	0	130.000	952.968	0	0	14.655	165.580	0	1.578.403
σποριο Ανοιξιάτικο Ανοιξιάτικο μέγ.	0	0	15.200	0	130.000	952.968	0	0	16.015	165.580	0	1.579.783

Πίνακας : Ι : Ποσότητες λιπασμάτων στην περιοχή του ταμιευτήρα σε kg.

Καλλιέργεια	αριθμός ακτάρων	αριθμός ακτάρων	αριθμός ακτάρων		Κατοίχες	Παραδοχές	Ζωοτροφία	αριθμός ακτάρων	Αριθμός ακτάρων	Αριθμός ακτάρων	Αριθμός ακτάρων	Αριθμός ακτάρων
Ελαιόλαδο	30000	5000	1900	115	13000	175000	8449	7000	600	2479	138	31401
Ελαιόλαδο	350000	100000	62700	345	78000	2625000	118296	60640	10171	69810	2101	1167181
Ελαιόλαδο	540000	100000	62700	345	65000	3500000	118296	60640	11859	1047555	2101	5508752
Ελαιόλαδο	730000	100000	62700	345	65000	3500000	118296	60640	11859	1047555	2101	5508752
Βαμβάκι	270000	50000	0	345	90000	0	0	80130	1890	0	0	91155
Βαμβάκι	360000	50000	0	345	65000	0	0	80130	1890	0	0	507555
Βαμβάκι	0	0	30400	0	0	2275000	84490	0	8581	69810	2101	3099213
Βαμβάκι	0	0	30400	0	0	3500000	84490	0	9969	1047555	2101	1671181
Βαμβάκι	240000	50000	32300	0	0	0	50694	60640	0	0	0	41811
Βαμβάκι	420000	50000	32300	0	0	0	50694	60640	0	0	0	61811
Βαμβάκι	150000	30000	0	920	104000	0	0	24270	210	0	0	809100
Βαμβάκι	210000	30000	0	920	104000	0	0	24270	210	0	0	809100
Βαμβάκι	0	0	15200	0	104000	1050000	42245	18842	12978	465580	790	1709615
Βαμβάκι	0	0	15200	0	104000	1750000	42245	18842	13296	465580	790	2109891
Βαμβάκι	0	0	15200	0	100000	1400000	0	0	11675	165580	0	305115

Πίνακας: 2 : Καλλιέργειες και ποσότητες λιπασμάτων στην περιοχή του ταμιευτήρα. Υπόθεση αύξησης των αρδευόμενων εκτάσεων.

Καλλιέργεια	Κατηγορία Φαρμάκων	κατ. ποσ. Χλνιστρ	σε 100.000 στρέμματα	σε 100.000 στρέμματα
Βαμβάκι	Ζιζανιοκτόνα	0.503	653901	93387483
	Εντομοκτόνα εδάφους	0.985	128050	182876085
	Εντομοκτόνα φυλλώμα			
	Οργανοφωσφορικά	0.0164	21321	30443404
	Καρβαμικά	0.047	6110	8726067
	Πυρεθροειδείς	0.0322	4186	59782842
	Οργανοχλωρισμένα	0.0134	1742	24873574
	Ακαρακτόνα	0.064	8320	11882304
	Φυτορρυθμιστικές	0.064	8320	11882304
	Μυκητοκτόνα	0.016	2080	2970576
	Στρώματα		130000	35000
Σιτάρι	Ζιζανιοκτόνα Ορμον	0.0172	2236	602
	Ζιζανιοκτόνα Αγριοβο	0.05063	65819	177205
	Εντομ-Μυκητ Εδάφους	0.045	5850	1575
	Στρώματα		8500	8500
Τεύτλα	Ζιζανιοκτόνα	0.362	3077	3077
	Εντομοκτόνα εδάφους	0.3	6800	6800
	Εντομ φυλλώματος	0.032	272	272
	Μυκητοκτόνα	1.58	13430	13430

Πίνακας : 3 : Εκτίμηση κατανάλωσης φαρμάκων σύμφωνα με εκτιμήσεις της Διευθύνσεως της Γεωργίας Λάρισας (Στοιχεία Κ. Γιατρόπουλος, 1994).

ΕΙΔΟΣ	ΕΜΠΛΕΚΤΗ	ΥΠΟΣΤΡ.	Ε	ΣΤΔ	ΣΤΡΕΜ.	Κg	
Assist	Aachlor	100	b	5.201	10.44	1.420	
Chloran	Ethalfuralin	100	b	21.90	28.324	15.430	
Chloran	Terbufosin	300	b	30.85	53.44	16.194	
Chloran	Chloran	150	b	21.12	36.420	13.440	
Chloran	Fluorimethalin	280	b	19.95	34.404	13.284	
Chloran	Amytrone + Prometron	200	b	0.00			50.500
Chloran	Chloran	350	b	20.47	35.824	12.424	
Chloran	Prometron	280	b	70.67	123.671	34.428	
Chloran	Fluorimethalin	130	b	8.86	15.505	5.117	50.503
Chloran	Terbufosin-Methyl	140	S	47.90	16.764	23	
Chloran	Chloran-Methyl	225	S	10.53	3.687	8.30	
Chloran	Fluorimethalin	225	S	6.87	2.405	5.41	
Chloran	Chloran-Methyl	145	S	21.13	7.395	1.072	
Chloran	Chloran + Cogycocet	50	S	8.09	2.833	1.42	
Sulfix	Benzoviprop-ethyl Flamprop-isopropyl	330	S	5.47	1.916	6.32	3.240
Simazin	Simazine		DK				
Lasso At	Alachlor Atrazine	450	K				
MCPA	MCPA	120	S	31.12	10.893	1.307	
Dialerai	2,4 D	70	S	68.88	24.107	1.688	2.995
Roneet	Cycloate	500	T	0.19		8	
Venzar	Ienacil	40	T	24.29	2.051	82	
Dual	Metalachlor	300	T	21.79	1.841	552	
Gortix	Metamitron	600	T	14.01	1.183	710	
Piramin	Pyrtazon Clondazon	300	T	1.87	158	47	
Betanal	Phenmedifan	500	T	3.92	331	166	
Norton	Enthofumesate	60	T	31.12	2.630	158	
Betazon	Pyrtazon Clondazon	330	T	2.83	239	79	1805
Roundup	Glyphosate	800	Dif			0	
Andor	Diethyl Ethyl	700	T		0	0	
Thimet	Phorate	1200	b	57.88	101.285	121.542	
Euradan	Carbofuran	1000	b	2.02	3.530	3.530	
Phorat	Phorate	1200	b	25.22	44.128	52.954	
Devston	Disulfotone	1000	b	13.83	24.207	24.207	
Temic	Aldicarb	600	b	1.06	1.849	1.110	203.34
				100.00			
Metasystox	Demeton-s-Methyl	85	b	0.84	1.464	1.24	
Kival	Vamidithion	110	b.D	3.45	6.034	6.64	
Novacton	Monocrotophos	100	b.d	7.59	13.274	1.327	
Parathion	Parathion	150	b.d	17.41	30.476	4.571	
Gusathion	Azinphos Ethyl	200	b.d	4.03	7.052	1.410	
Thodan	Endosulfan	200	b.d	20.03	35.053	7.011	
Azodrin	Monocrotophos	70	b.d	8.94	15.645	1.095	
Mosana	Chloran	140	b	25.63	44.849	6.279	

Πίνακας : 4 : Εκτίμηση ποσοτήτων γεωργικών φαρμάκων που χρησιμοποιούνται στην περιοχή του ταμιευτήρα μετά την άρδευση 186.000 στρεμμάτων

Παρασκευασμα	Εμπορικό Όνομα	Δοσολογία (g)	Βιολογική Εξουδετέρωση (%)	Ποσότητα (kg)	Ποσότητα (kg)	Ποσότητα (kg)
Phosphamidon	Phosphamidon	100	b	10.26	10.26	10.26
Thiomethox	Thiomethox	100	b	10.26	10.26	10.26
Bertholacarb	Bertholacarb	100	b	10.26	10.26	10.26
Omethoate	Omethoate	200	b.d	2.42	4.938	1.57
				100.00		
Endane	Endane	500	B.d			21
Chlorpyrifos	Chlorpyrifos	700	b.d			21
Parathion	Parathion	800	b.d			21
Parathion	Parathion					21
Triazophos	Triazophos	110	d	11.32	2.661	2.661
Methomyl	Methomyl	30	d	0.38	90	31
Methidathion	Methidathion	110	d	7.78	1.826	201
Varidithion	Varidithion	110	b.d	4.17	479	108
Monocrotophos	Monocrotophos	100	b.d	9.15	2.154	215
Parathion	Parathion	150	b.d	21.24	4.944	742
Azinphos Ethyl	Azinphos Ethyl	200	b.d	4.87	1.144	229
Endosulfan	Endosulfan	200	b.d	24.20	5.687	1.137
Monocrotophos	Monocrotophos	70	b.d	10.90	2.538	178
Omethoate	Omethoate	200	b.d	3.41	801	168
Mecarban	Mecarban	150	d	0.95	224	34
Methamidofos	Methamidofos	300	Ka.p.d	1.91	449	135
Tetumaron	Tetumaron	100	d	0.00	0	0
				100.00		3.442
Propargite	Propargite	200	b	6.46	12.814	2.563
Dicofol	Dicofol	200	b.d	8.55	16.974	3.395
Dicofol+	Dicofol+	200	b.d	11.32	22.465	4.493
Tetradifon	Tetradifon	150	b.d			
Ammitraz	Ammitraz	220	b.d	12.99	25.794	5.675
Clofentezine	Clofentezine	30	b.d	5.17	10.262	308
Hexithiazox	Hexithiazox	30	b.d	48.16	95.603	2.868
		150	b.d	1.84	3.661	549
		250	b.d	2.01	3.994	998
		120	b.d	3.49	6.934	832
				100.00		0
Cubakirhen	Cubakirhen	87.8	b.d	100	175.000	15.365
						15.365

Πίνακας : 5 : Εκτίμηση ποσοτήτων γεωργικών φαρμάκων που χρησιμοποιούνται στην περιοχή του ταμιεντήρα μετά την άρδευση 186.000 στρεμμάτων

ΧΙΛΙΑΔΕΣ ΝΕΚΡΑ ΨΑΡΙΑ ΣΤΗΝ ΚΑΡΛΑ: ΘΥΜΑΤΑ ΠΑΓΕΤΟΥ Ή ΑΝΕΥΘΥΝΟΤΗΤΑΣ;

Ερωτηματικά και βαθιά ανησυχία δημιουργεί για ακόμα μια φορά (τρίτη φορά από το καλοκαίρι), η πρόσφατη εμφάνιση χιλιάδων ψαριών στην επιφάνεια του καναλιού που οδηγεί στον ταμιευτήρα της Κάρλας, αλλά και στο εσωτερικό του ίδιου του ταμιευτήρα.

Για μια ακόμη φορά οι αρμόδιες αρχές προσπαθούν να ερμηνεύσουν το συμβάν ως αποτέλεσμα ... κακοκαιρίας. Τα αίτια της διαταραχής της ζωής στον ταμιευτήρα η Αντινομάρχης Μαγνησίας ισχυρίστηκε πως τα ψάρια ανέβηκαν στην επιφάνεια λόγω ψύχους-παγετού. Βέβαια κάτι τέτοιο έρχεται σε αντίθεση με θεμελιώδεις φυσικές ιδιότητες του νερού και δυστυχώς αποκαλύπτει επιπολαιότητα ή, ακόμα χειρότερα, πρόθεση για υποβάθμιση των γεγονότων. Η Θεματική Ομάδα Περιβάλλοντος των Οικολόγων Πράσινων ενημερώθηκε από το Φορέα Διαχείρισης της Κάρλας, όπου αναφέρθηκε ότι υπάρχουν 2 πιθανές αιτίες για το φαινόμενο: α) το νερό δεν οξυγονώνεται επαρκώς λόγω φαινομένου ευτροφισμού που οφείλεται σε αυξημένη συγκέντρωση οργανικής ύλης σε συνδυασμό με την πτώση της στάθμης του νερού λόγω μειωμένων βροχοπτώσεων και β) το νερό έχει κάποιου άλλου είδους τοξικότητα όπως για παράδειγμα βαρέα μέταλλα. Έχουν ξεκινήσει αναλύσεις νερού που θα διαφωτίσουν περισσότερο την κατάσταση. Αξίζει να σημειωθεί ότι παρόμοιο περιστατικό στο παρελθόν οφείλονταν σε ξέπλυμα γεωργικών μηχανημάτων και τοξίνωση των νερών με υπολείμματα φυτοφαρμάκων. Κλιμάκιο των Οικολόγων Πράσινων Θεσσαλίας πήγε επιτόπου στη λίμνη Κάρλα. Οι πρώτες εικόνες των ψαριών έχουν όλες τις ενδείξεις για περιορισμένο οξυγόνο, αλλά θα περιμένουμε τη δημοσιοποίηση των αναλύσεων στο νερό και στα ψάρια. Το αμέσως επόμενο χρονικό διάστημα ομάδα ειδικών επιστημόνων των Οικολόγων Πράσινων θα επισκεφτεί την περιοχή για να συνδράμει στην προσπάθεια του Φορέα Διαχείρισης για αποσαφήνιση των αιτιών του σοβαρού αυτού προβλήματος διαρκείας στη λίμνη.

Υπάρχει πράγματι αποκατάσταση της λίμνης ή δημιουργείται ένας ταμιευτήρας με αστοχίες; Θεωρούμε πως οι πρόσφατοι μαζικοί θάνατοι ψαριών έχουν τη ρίζα τους στον τρόπο με τον οποίο «σχεδιάστηκε» η «αποκατάσταση» της λίμνης Κάρλας εξ αρχής. Δεν είναι σωστό να θεωρείται αποκατάσταση λίμνης η κατασκευή ενός τεχνητού αρδευτικού ταμιευτήρα με αμφίβολα υδρολογικά, ενεργειακά, περιβαλλοντικά και άλλα τεχνικά χαρακτηριστικά. Αποκατάσταση μιας λίμνης υπάρχει μόνο όταν αφορά στα συνολικά οικολογικά χαρακτηριστικά που είχε πριν η λίμνη και ιδιαίτερα στις λειτουργίες που επιτελούσε για το φυσικό περιβάλλον και τον άνθρωπο. Άλλο, λοιπόν, η δημιουργία ενός ταμιευτήρα και άλλο η επανασύσταση μιας λίμνης με όλες τις λειτουργίες της.

Η αποκατάσταση για να είναι επιτυχημένη χρειάζεται να είναι βιώσιμη. Δεν είναι λύση να γεμίζει ένας ταμιευτήρας με ψάρια (είτε αναπαράγονται μόνα τους, είτε τα εισάγουμε σε αυτόν) και σε 1-2-3 χρόνια να πεθαίνουν. Δεν είναι λύση να γεμίζει με νερό μια επιφάνεια και μάλιστα με τσιμεντένιες όχθες και να θεωρείται ότι αποκαθίσταται μια λίμνη, ειδικά αν δεν λαμβάνονται υπόψη τα ιδιαίτερα ενδιαιτήματα των οργανισμών που κατοικούν σ' αυτή. Φυσικά αν αυτή η επιφάνεια είναι μεγάλη θα αναπτυχθούν εντός της φυτά και ψάρια και θα προσελκύσει πτηνά. Ποιες όμως είναι και από τι αποτελούνται αυτές οι κοινότητες ψαριών, φυτών, ασπόνδυλων, πτηνών; Και κυρίως ποιοι είναι οι κίνδυνοι και τα εμπόδια για την μακροχρόνια επιβίωσή τους και την αποκατάσταση μιας όποιας ισορροπίας; Σήμερα αποδεικνύεται για άλλη μια φορά η κατασπατάληση οικονομικών πόρων για ένα ακόμη έργο, που χωρίς επιστημονικά κριτήρια βαφτίζεται αυθαίρετα από τους αναδόχους του έργου ως «περιβαλλοντικό». Η προχειρότητα καταδεικνύεται και με την απουσία οποιασδήποτε πρόνοιας για το φυσικό περιβάλλον στην περιοχή. Είναι βέβαιο πλέον ότι δεν υπάρχει κανένας σχεδιασμός για την οικολογική αναγέννηση της λίμνης, αλλά ούτε καν για την οικολογική αναβάθμιση της ζωής του ταμιευτήρα.

Αποδεικνύεται δυστυχώς στην πράξη ότι οι αρμόδιοι φορείς δεν είναι σε θέση να αξιοποιήσουν τις μοναδικές ευκαιρίες στην περιοχή για πραγματικά βιώσιμη ανάπτυξη που να λειτουργεί συνεργατικά με το περιβάλλον και τους φυσικούς πόρους της περιοχής κι όχι ερήμην τους: μιας περιοχής ιδιαίτερα πλούσιας και ξεχωριστής σε φυσικό περιβάλλον, ιστορικά και κοινωνικά στοιχεία, που θα μπορούσε να αποτελέσει παράδειγμα και για άλλες οικολογικά ευαίσθητες περιοχές. Φαίνεται να μην τηρούνται οι υποχρεώσεις των φορέων που έχουν την ευθύνη για την τήρηση της νομοθεσίας αλλά και την προστασία της υγείας των κατοίκων, ακόμα και όσων κυνηγούν και ψαρεύουν παράνομα στην περιοχή, αμφιβόλου ποιότητας και ασφάλειας ζώα και ψάρια.



www.thronio.gr

Χιλιάδες νεκρά και ημιθανή ψάρια υπάρχουν μέσα στον ταμιευτήρα στη λίμνη Κάρλα, σε ένα μήκος 5 χιλιομέτρων. Σημειώνεται ότι είναι η τρίτη φορά μέσα σε ένα χρόνο που συμβαίνει τέτοιου είδους οικολογική καταστροφή.

Σε πολλά σημεία, ειδικά κοντά στα τοιχώματα των αντλιοστασίων, οι ποσότητες των νεκρών ψαριών ήταν μεγαλύτερες, ενώ σε αρκετά σημεία της λίμνης το νερό ήταν γεμάτο αφρούς και φερτές ύλες.

Όπως αναφέρει ο Σκάι, υπάλληλοι της νομαρχίας έλαβαν δείγματα για να διαπιστωθεί εάν υπάρχει ρύπανση στην περιοχή ενώ σε άλλες δύο περιπτώσεις κατά το παρελθόν που σημειώθηκε ανάλογο περιστατικό, οι επιστήμονες απέδωσαν τον θάνατο των ψαριών στην πτώση της θερμοκρασίας του νερού.

Σύμφωνα με τις κείμενες διατάξεις, το νερό της λίμνης Κάρλας θεωρείται ότι ανταποκρίνεται στα πρότυπα ποιότητας νερών για διαβίωση ψαριών, εφόσον για χρονική περίοδο 12 μηνών το 95% των δειγμάτων που έχουν ληφθεί δεν υπερβαίνουν τις τιμές των παραμέτρων, όπως ορίζονται από τη νομοθεσία.

Στις αρχές του έτους, [νεκρά ψάρια](#) είχαν αρχίσει να ξεβράζονται στις όχθες της λίμνης, δυο εβδομάδες μετά την ανίχνευση αμμωνίας στα νερά. Τα αποτελέσματα δειγματοληψιών από τη λίμνη, στα τέλη του Φλεβάρη, ήταν ιδιαίτερα ανησυχητικά αφού ανιχνεύτηκε αμμωνία 2.500 έως 22.900 φορές υψηλότερη από τα επιτρεπόμενα όρια.

Υπενθυμίζεται ότι η Κάρλα βρίσκεται στα νοτιοανατολικά του θεσσαλικού κάμπου και αποξηράνθηκε το 1962, με την κατασκευή σήραγγας που διοχέτευε τα νερά στον Παγασητικό. Η [αποξήρανση](#) της Κάρλας επέφερε ριζικές οικολογικές και κοινωνικο-οικονομικές αλλαγές στους παρακάλλιους οικισμούς.

Οι εργασίες για την ανασύσταση μέρους της λίμνης (38.000 στρεμμ. από τα 130.000 στρεμμ. της αρχικής της έκτασης) ξεκίνησαν το 1999. Από το Φεβρουάριο του 2009, άρχισε να [γεμίζει η λίμνη και πάλι με νερό, αλλά και με ψάρια](#).

Ερωτηματικά δημιουργεί για ακόμα μια φορά (τρίτη φορά από το καλοκαίρι), η πρόσφατη εμφάνιση χιλιάδων ψαριών στην επιφάνεια του καναλιού που οδηγεί στον ταμιευτήρα της Κάρλας. Οι αρμόδιοι φορείς στην προσπάθειά τους να υποβαθμίσουν το γεγονός, δεν διστάζουν να...

αλλάζουν ακόμη και τις φυσικές ιδιότητες του νερού, προκειμένου να καλύψουν το θέμα και να καθυσυχάσουν την κοινή γνώμη. Θα πρέπει επιτέλους να γίνει κατανοητό ότι η αποκατάσταση της λίμνης Κάρλας δεν είναι δυνατόν να αφορά αποκλειστικά στη δημιουργία αρδευτικού ταμιευτήρα, ο κακός σχεδιασμός του οποίου έχει ως αποτέλεσμα να παρατηρούμε πολλά δυσμενή επεισόδια όπως την νέκρωση ψαριών, το πρασίνισμα των νερών, την μείωση του οξυγόνου στο νερό, την ρύπανση από λιπάσματα και φυτοφάρμακα κ.α. . Η αποκατάσταση μιας λίμνης νοείται ως αποκατάσταση μόνο όταν αφορά στα χαρακτηριστικά που είχε η λίμνη και ιδιαίτερα στις λειτουργίες που επιτελούσε για το φυσικό περιβάλλον και τον άνθρωπο. Γιατί είναι αυτονόητο ότι η αποκατάσταση για να είναι επιτυχημένη χρειάζεται να είναι και βιώσιμη.

Σήμερα αποδεικνύεται για άλλη μια φορά η κατασπατάληση οικονομικών πόρων για ένα ακόμη έργο, που χωρίς επιστημονικά κριτήρια καθορίζεται από τους αναδόχους του έργου ως «περιβαλλοντικό», και φυσικά είναι δεδομένο ότι δεν είναι η Κάρλα όπως ήταν παλιά και ονειρεύονται οι παρακάριοι πληθυσμοί. Αν δεν λυθούν τα προβλήματα ρύπανσης στη Λεκάνη απορροής της Κάρλας και δεν δημιουργηθούν οι κατάλληλοι βιότοποι όπως προτείνονται από τους επιστήμονες στο ταμιευτήρα για τα ψάρια, τα πουλιά και άλλους οργανισμούς πιστεύουμε ότι δεν θα μπορέσει να έρθει η περιβαλλοντική ισορροπία στη περιοχή με αποτέλεσμα να έχουμε δυσμενείς επιπτώσεις και στην τοπική οικονομία, που σήμερα οι κάτοικοι περιμένουν να βελτιωθεί μέσα από την ανάπτυξη ενός λιμναίου οικοσυστήματος όπως το γνώριζαν παλιά. Η περιοχή δεν μπορεί να αναπτυχθεί αγροτικά, περιβαλλοντικά και οικονομικά όταν θα έχουμε και στο μέλλον παρόμοια επεισόδια. Πιστεύουμε ότι θα πρέπει να σταματήσει ο ταμιευτήρας να είναι χώρος όπου θα ξεπλένονται όλοι οι ρύποι του κάμπου γιατί αυτό θα έχει δυσμενείς επιπτώσεις και στην αγροτική παραγωγή.

Η αναβάθμιση της περιοχής πρέπει και μπορεί να γίνει εφικτή μόνο μέσα από την σκοπιά της επαναφοράς της λειτουργικότητας της λίμνης για το φυσικό περιβάλλον και τον άνθρωπο. Δηλαδή, την επίτευξη οικολογικών και βιώσιμων στόχων. Για να γίνει κάτι τέτοιο χρειάζεται έρευνα, σοβαρή μελέτη, ουσιαστικός διάλογος με την τοπική κοινωνία και παραγωγή έργου από τον φορέα διαχείρισης. Πριν από όλα, όμως, χρειάζεται προσεκτικός σχεδιασμός από την Πολιτεία, που να μην υποκύπτει στον αυτοσκοπό μεγιστοποίησης της απορρόφησης κοινοτικών πόρων.

www.trikalaola.gr



Εκατοντάδες νεκρά ψάρια επέπλεαν στη λίμνη Κάρλα, στο Βόλο. Το θλιβερό θέαμα αντίκρισε ένας υπάλληλος του δήμου, ο οποίος ενημέρωσε τις αρμόδιες Αρχές. Σε αυτοψία που έγινε στο χώρο, παρουσία γεωπόνου, διαπιστώθηκε ότι τα νεκρά ψάρια εκτείνονταν σε μήκος 3,5 χιλιομέτρων. Το σημαντικό είναι ότι, με τα μέχρι τώρα διαθέσιμα στοιχεία, ο κεντρικός ταμιευτήρας δεν φαίνεται να μολύνθηκε, καθώς αυτό το διάστημα η συγκεκριμένη τάφρος, στην οποία καταλήγουν τα νερά του Πηνειού, δεν διοχέτευε με νερό τη λίμνη. Η πιθανότερη εκδοχή για τον θάνατο των ψαριών εκτιμάται ότι είναι η ασφυξία από έλλειψη οξυγόνου, γι' αυτό και κρίνεται πλέον επιτακτική η ανάγκη για την ολοκλήρωση του έργου του αντλιοστασίου στον Πηνειό, ώστε η ποσότητα νερού που φτάνει στην Κάρλα να είναι αρκετή.

paraktio-psarema.pblogs.g

Σοβαρή ρύπανση στα νερά της λίμνης Κάρλας, η οποία δεν μπορεί να δικαιολογηθεί μόνο από τη χρήση λιπασμάτων και τη λειτουργία ποιμνιοστασίου δίπλα στην τάφρο, μαρτυρούν οι αυξημένες συγκεντρώσεις σε αμμωνία (NH₃) σύμφωνα με τις τελευταίες δειγματοληψίες.

Αμμωνία σε αυξημένα επίπεδα –έως και 22.900 (!) φορές πάνω από το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο- ανίχνευσαν οι εργαστηριακές αναλύσεις στο σύνολο των δειγμάτων από διάφορα σημεία. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις ειδικών η αύξηση των συγκεντρώσεων της παραμέτρου συνεπάγεται πρόσφατη ρύπανση. Εφόσον συνεχιστεί η κατάσταση, πιθανός είναι ο κίνδυνος για τη διαβίωση των ψαριών στη λίμνη. Μέσα στη λίμνη η αμμωνία ξεπερνούσε το ανώτατο όριο κατά 2.500 φορές.

Την επόμενη εβδομάδα αποφασίστηκε διενέργεια έκτακτης δειγματοληψίας, η οποία θα περιλαμβάνει και τα σημεία της Τάφρου 1 στα όρια της Μαγνησίας, ώστε να γίνει σύγκριση αποτελεσμάτων.

Στόχος είναι να υπάρξει πληρέστερη εικόνα για την προέλευση της αυξημένης συγκέντρωσης αμμωνίας, ενημέρωνε χθες η αντινομάρχης Περιβάλλοντος Νατάσα Οικονόμου, δίνοντας στη δημοσιότητα τα στοιχεία των αναλύσεων.

Εφόσον διαπιστωθούν εκ νέου αυξημένες τιμές, οι έλεγχοι θα επικεντρωθούν στον εντοπισμό της προέλευσης της ρύπανσης και το σχεδιασμό επανορθωτικών μέτρων.

Η τελευταία δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 26 Φεβρουαρίου. Σε όλα τα δείγματα οι εργαστηριακές αναλύσεις κατέδειξαν ιδιαίτερα αυξημένες τιμές συγκέντρωσης της αμμωνίας.

Με ανώτατο επιτρεπόμενο όριο συγκέντρωσης τα 0,025 mg/l, σε δείγμα από το νέο θυρόφραγμα της T1 ανιχνεύθηκε αμμωνία με συγκέντρωση 2,65mg/l, στη γέφυρα Στεφανοβικείου 5,75 mg/l, στην είσοδο του αντλιοστασίου της T1 4,4mg/l και εντός της λίμνης 0,65 mg/l.

Δειγματοληψίες στην αποστραγγιστική τάφρο T1 διενεργούνται μία φορά το μήνα από τον Σεπτέμβριο του 2009, έπειτα από πρόταση υπαλλήλων της Διεύθυνσης Προστασίας Περιβάλλοντος της ΝΑΜ, προκειμένου να ελεγχθεί η ποιότητα των νερών αυτής, αν δηλαδή ανταποκρίνεται στα πρότυπα ποιότητας νερών για διαβίωση ψαριών, εξήγησε η κ. Οικονόμου.

Σύμφωνα με τις κείμενες διατάξεις, το νερό θεωρείται ότι ανταποκρίνεται στα πρότυπα ποιότητας νερών για διαβίωση ψαριών, εφόσον για χρονική περίοδο 12 μηνών το 95% των δειγμάτων που έχουν ληφθεί δεν υπερβαίνουν τις τιμές των παραμέτρων, όπως ορίζονται από τη νομοθεσία.

Η Νατάσα Οικονόμου υπενθύμισε ότι η Διεύθυνση Περιβάλλοντος μετά την αυτοψία που είχε γίνει στην περιοχή τον Σεπτέμβριο του 2009 είχε επισημάνει στους εμπλεκόμενους φορείς (πρώην ΥΠΕΧΩΔΕ, Διεύθυνση Υδάτων Περιφέρειας Θεσσαλίας, Φορέα Διαχείρισης Κάρλας) την αναγκαιότητα υλοποίησης των διατάξεων Κοινής Υπουργικής Απόφασης.

Η ΚΥΑ προβλέπει την άμεση κατάρτιση προγράμματος για την πρόληψη, εντοπισμό και περιορισμό της ρύπανσης των νερών της Τ1 και τον σχεδιασμό δικτύου θέσεων δειγματοληψίας και επιτόπιων μετρήσεων και αναλύσεων για τον έλεγχο της ποιότητας των νερών, που τώρα πραγματοποιείται από τη ΝΑΜ.

Επιπλέον η Διεύθυνση Περιβάλλοντος είχε ζητήσει πριν ένα περίπου χρόνο από τη Διεύθυνση Υδάτων της Περιφέρειας Θεσσαλίας τον καθορισμό εξειδικευμένων παραμέτρων, των θέσεων και της συχνότητας δειγματοληψιών, για τη συστηματική παρακολούθηση της ποιότητας του νερού των επιφανειακών υδάτινων αποδεκτών της περιοχής (λίμνη Κάρλα και κύριες τάφροι), καθώς και των υπόγειων υδροφορέων της, σύμφωνα με τα οριζόμενα στο σχετικό όρο της ΚΥΑ για τον επαναπλημμυρισμό της λίμνης Κάρλας.

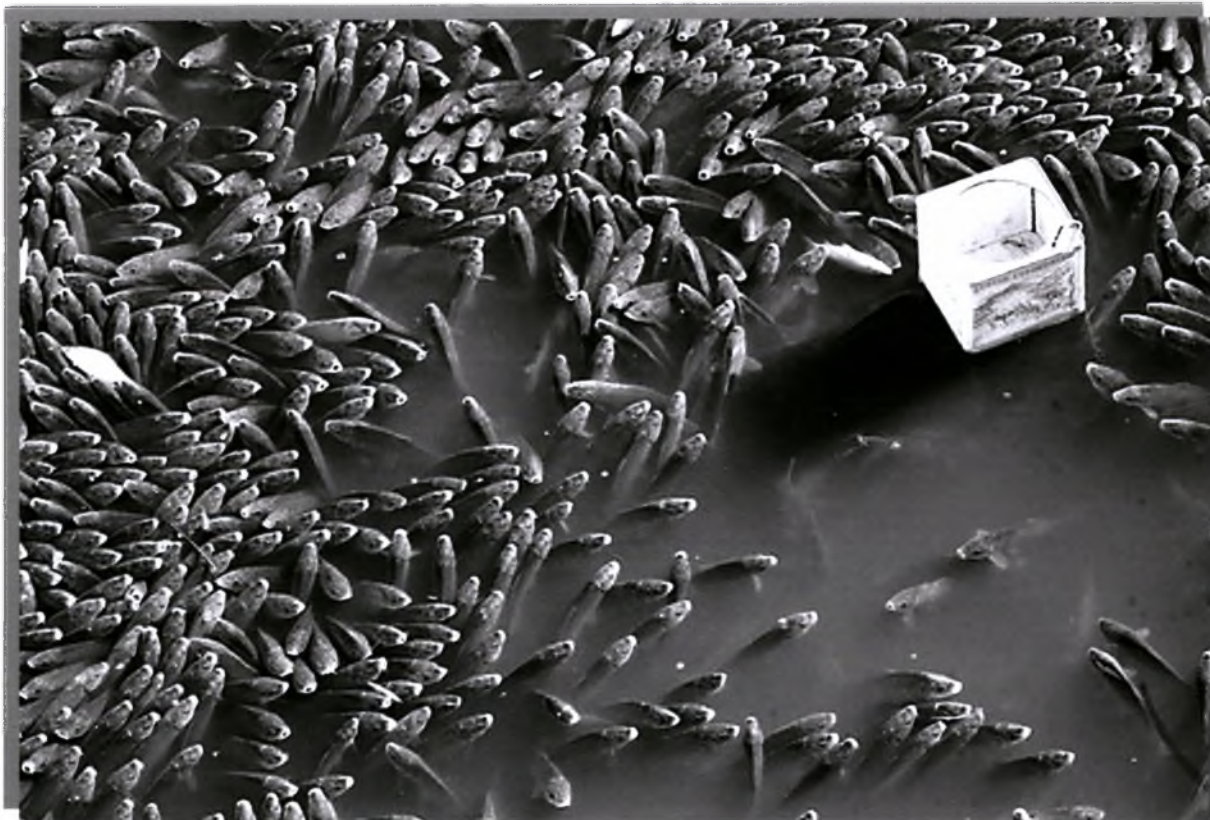
Ένα ακόμη έγγραφο της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης, το Νοέμβριο του 2009, με αποδέκτη τον Γενικό Γραμματέα του Υπουργείου Υποδομών έθετε την ανάγκη εκτέλεσης έργων από την ΕΥΔΕ, ώστε η λειτουργία του θυροφράγματος να είναι συνυφασμένη με τη λειτουργία του αντλιοστασίου μεταφοράς νερού από την Τ1 στην Τ2 και των αντιπλημμυρικών αντλιοστασίων τροφοδοσίας της λίμνης.

Η κ. Οικονόμου ενημέρωνε χθες ότι τα αιτήματα θα τεθούν εκ νέου από τη Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Μαγνησίας στους εμπλεκόμενους φορείς και υπηρεσίες.

Βάσω Σαμακοβλή

Από την εφημερίδα Ταχυδρόμος

<http://activistis.gr>



Με τη σοκαριστική εικόνα χιλιάδων νεκρών ψαριών και άλλων που σπαρταρούσαν στις όχθες της λίμνης Κάρλα και σε μήκος περίπου 5 χιλιομέτρων, βρέθηκαν αντιμέτωποι κάτοικοι της περιοχής.

Σε πολλά σημεία, ειδικά κοντά στα τοιχώματα των αντλιοστασίων, οι ποσότητες των νεκρών ψαριών ήταν μεγαλύτερες, ενώ σε αρκετά σημεία της λίμνης το νερό ήταν γεμάτο αφρούς και φερτές ύλες.

Αρμόδιοι φορείς ήδη αναζητούν τα αίτια της μεγάλης οικολογικής καταστροφής, ωστόσο είναι η Τρίτη φορά που παρατηρείται το φαινόμενο να εκβράζονται νεκρά ψάρια, αλλά είναι πρώτη φορά που συμβαίνει σε τόσο μεγάλη έκταση.

<http://www.newsbomb.gr/energeia-periballon/story/oikologiki-katastrofi-sti-limni-karla>

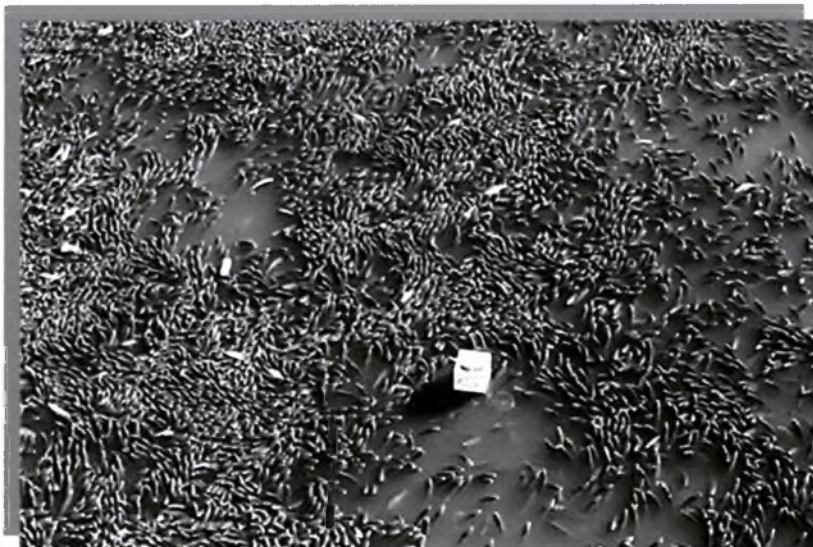


Τα φυτοφάρμακα «σκοτώνουν» τη λίμνη Κάρλα. Σε ρύπανση από φυτοφάρμακα και αγροτικές δραστηριότητες δείχνουν οι πρώτες ενδείξεις ότι οφείλεται ο θάνατος χιλιάδων ψαριών στη λίμνη.

Οι πρώτες εργαστηριακές αναλύσεις έδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις αμμωνίας ήταν πάνω από τα επιτρεπτά επίπεδα όπως και οι συγκεντρώσεις οξυγόνου στη λίμνη.

Μέτρα προστασίας στη λίμνη Κάρλα ζήτησε, με ερώτησή του στη βουλή ο πρόεδρος της Δημοκρατικής Αριστεράς Φώτης Κουβέλης.

apnews.gr/index.php



Μετά από ένα μήνα σιγής ιχθύος... και με επίσημο τρόπο επιβεβαιώνονται τα αποκλειστικά δημοσιεύματα του «Τ» για τη μαζική συγκέντρωση χιλιάδων ψαριών στη λίμνη Κάρλα πάνω από την επιφάνεια του νερού, μεταξύ τους πολλά νεκρά.

Τα σοβαρά ερωτήματα που είχε θέσει ο «Τ» παρέμειναν αναπάντητα για το φαινόμενο, το οποίο σύμφωνα με εκτιμήσεις επιστημόνων έκρυβε σοβαρούς κινδύνους για την υπό ανασύσταση λίμνη. Αρμοδίως το θέμα επιχειρήθηκε να υποβαθμιστεί με δηλώσεις και πορίσματα που μιλούσαν για... κρυοπάγημα των ψαριών.

Ωστόσο η ερώτηση κοινοβουλευτικού ελέγχου που κατέθεσε ο βουλευτής του ΠΑΣΟΚ και πρόεδρος της Επιτροπής Περιβάλλοντος της Βουλής Κ. Καρτάλης ήταν αποκαλυπτική, επιβεβαιώνοντας πλήρως το δημοσίευμα.

Με την ερώτηση γίνεται επίκληση στοιχείων που δόθηκαν από τον Φορέα Διαχείρισης της Κάρλας και στα οποία ουδέποτε έγινε αναφορά τις ημέρες που αναζητούνταν απαντήσεις για το φαινόμενο.

Από τον Φορέα γίνεται παραδεκτό ότι η τροφική κατάσταση της λίμνης Κάρλας υποδηλώνει συνθήκες ευτροφισμού και κίνδυνο τοξικότητας για την υδρόβια ζωή.

Παράλληλα, η προκαταρκτική διερεύνηση της ποικιλότητας μικροφυκών, πρωτοζώων και κυανοβακτηρίων έδειξε ότι επικρατούν είδη που παράγουν τοξίνες αλλά και παρασιτικά είδη.

Το εύρημα συνιστά ιδιαίτερα σημαντικό δυνητικό κίνδυνο για το ίδιο το οικοσύστημα, την υδρόβια ζωή, αλλά και για τις χρήσεις που ασκούνται σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, όπως επισημαίνεται.

Στην ερώτηση γίνεται αναφορά στο φαινόμενο που παρατηρήθηκε στη λίμνη Κάρλα στις 11 Δεκεμβρίου 2010 και το οποίο αποκάλυψε ο «Τ» σχετικά με πολυάριθμη συγκέντρωση ψαριών στην περιοχή του αντλιοστασίου, καθώς και θάνατοι ψαριών.

Μετά από επιτόπια μακροσκοπική παρατήρηση που πραγματοποίησε ο Φορέας Διαχείρισης Κάρλας, οι ενδείξεις κατατείνουν στο γεγονός ότι πρόκειται για εμφάνιση φαινομένου σημειακής έλλειψης οξυγόνου, το οποίο αποδίδεται στις ιδιαίτερα, απότομα, χαμηλές θερμοκρασίες.

Όπως όμως επισημαίνεται από το Φορέα Διαχείρισης, παρά το γεγονός ότι το προαναφερόμενο φαινόμενο πυροδοτήθηκε από τις θερμοκρασιακές συνθήκες του περιβάλλοντος, εντούτοις στη λίμνη Κάρλα το φαινόμενο αυτό μεγεθύνεται γιατί παράλληλα συμβαίνουν σε έντονο ρυθμό και άλλες δραστηριότητες που επίσης ενοχοποιούνται για την κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων οξυγόνου».

Επισημαίνεται επίσης ότι σύμφωνα με τα στοιχεία που κατέθεσε στη Βουλή ο Γενικός Επιθεωρητής Περιβάλλοντος, ο Πηνεϊός -νερά του οποίου καταλήγουν στην Κάρλα- εμφανίζεται με σημαντικά προβλήματα ρύπανσης λόγω λυμάτων από βιομηχανικές και βιοτεχνικές δραστηριότητες, αποβλήτων από κτηνοτροφικές μονάδες, της πλημμελούς λειτουργίας του βιολογικού καθαρισμού Τρικάλων, αλλά και γεωργικών δραστηριοτήτων.

www.taxydromos.gr/latestnews

Μηνυτήρια αναφορά για το πρόσφατο φαινόμενο μαζικής συγκέντρωσης νεκρών ψαριών στη Λίμνη Κάρλα, κατέθεσε στην Εισαγγελία Πλημμελειοδικών Βόλου ο πρόεδρος του Κέντρου Μελέτης για την Προστασία του Περιβάλλοντος και της Πολιτιστικής Κληρονομιάς στη Λίμνη Βοιβηίδα – Κάρλα (ΚΕΜΕΒΟ), Σωτήρης Γκανάτσιος.

Σύμφωνα με το περιεχόμενο της μηνυτήριας αναφοράς, από το Φεβρουάριο του 2009, οπότε άρχισε να γεμίζει ο ταμιευτήρας της Λίμνης Κάρλας με νερό, κατά πλειονότητα από το αντλιοστάσιο του Στεφανοβικείου, ξεκίνησε η αλιεία ψαριών από τη λίμνη. Με αυτό τον τρόπο επισημαίνεται ο κίνδυνος -εκτός από το περιβάλλον, που εγκυμονεί η κατανάλωση ψαριών για τη δημόσια υγεία.

Με τη μήνυση επισυνάπτεται πλήθος δημοσιευμάτων του τοπικού Τύπου, έγγραφα, καθώς και οι αιτήσεις που έχουν υποβληθεί στα Τμήματα Υγιεινής και Αλιείας της Νομαρχίας Μαγνησίας, στην Υπηρεσία Επιθεωρητών Περιβάλλοντος και στον πρόεδρο της Επιτροπής Περιβάλλοντος, με τις οποίες ο κύριος Γκανάτσιος ζήτησε στοιχεία.

Η προηγούμενη μηνυτήρια αναφορά που κατέθεσε στην Εισαγγελία Βόλου το ΚΕΜΕΒΟ ήταν στις 5 Νοεμβρίου 2009. Τότε η μήνυση περιέγραφε το τεράστιο οικολογικό πρόβλημα που είχε δημιουργηθεί στη λίμνη Κάρλα, όταν στον ταμιευτήρα είχαν βρεθεί δεκάδες νεκρές αγελάδες.

Η μήνυση αναφερόταν παράλληλα στο άνοιγμα του θυροφράγματος της σήραγγας, από την οποία οδηγούνται νερά της Κάρλας στον Ξηριά και στη συνέχεια μέσω της Μπουρμπουλήθρας στον Παγασητικό Κόλπο.

<http://www.yougles.com/m/articles/view/Mhnysh-gia-ta-nekra-Psaria-sth-Limnh-Karla>

15 Δεκεμβρίου 2010 | Εκδόθηκε σε Περιβάλλον

Διαρκές έγκλημα στη λίμνη Κάρλα

Από: thanoni



Μεγάλη οικολογική καταστροφή αντίκρισαν για τρίτη φορά φέτος κάτοικοι που ζουν κοντά στη λίμνη Κάρλα στο νομό Μαγνησίας.

Χιλιάδες νεκρά ψάρια υπάρχουν μέσα στον ταμιευτήρια σε ένα μήκος 5 χιλιομέτρων. Υπάλληλοι της νομαρχίας έλαβαν δείγματα για να διαπιστωθεί εάν υπάρχει ρύπανση στην περιοχή ενώ σε άλλες δύο περιπτώσεις κατά το παρελθόν που σημειώθηκε ανάλογο περιστατικό, οι επιστήμονες απέδωσαν τον θάνατο των ψαριών στην πτώση της θερμοκρασίας του νερού.

skai.gr

<http://madmedia.gr/29375/diarkes-eglima-stin-limni-karla/>

Πεθαίνουν, μεταξύ άλλων, από την ύπαρξη αμμωνίας στο νερό

Για τρίτη φορά φέτος καταγράφηκε στην Κάρλα το δυσάρεστο και ανησυχητικό φαινόμενο των πολλών χιλιάδων νεκρών ψαριών.

Τα ψάρια είχαν εκβραστεί σε μήκος μεγαλύτερο των 5 χιλιομέτρων, και οι ποσότητες αυξάνονταν στα τοιχώματα των αντλιοστασίων, ενώ σε αρκετά σημεία της λίμνης, σύμφωνα με τοπικά δημοσιεύματα, το νερό ήταν γεμάτο αφρούς και φερτές ύλες.

Το Μάρτιο του 2010, νεκρά ψάρια βρέθηκαν από μέλη του Φορέα Διαχείρισης της Κάρλας κοντά στο αντλιοστάσιο. Επίσης, το Σεπτέμβριο του 2010, κατά τη διάρκεια διενέργειας ελέγχου στην περιοχή, κλιμάκιο υπαλλήλων της Διεύθυνσης Προστασίας Περιβάλλοντος εντόπισε και πάλι νεκρά ψάρια στην έξοδο της σήραγγας της Κάρλας.

Σε σχετικές αναλύσεις δειγμάτων νερού από τη λίμνη είχαν τότε ανιχνευθεί υψηλά επίπεδα αμμωνίας, γεγονός που, σύμφωνα με τους ειδικούς, εγκυμονεί κινδύνους για τη διαβίωση των ψαριών.

Σύμφωνα με άλλες εκτιμήσεις, οι πληθυσμοί των ψαριών της λίμνης αποδεκατίζονται από την έλλειψη οξυγόνου εξαιτίας των ανεπαρκών ποσοτήτων νερού της Κάρλας, καθώς είναι ακόμη υπό κατασκευή ο ταμιευτήρας του Πηνειού.

Ο Φώτης Κουβέλης κατέθεσε ερώτηση προς τους υπουργούς Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, Περιβάλλοντος, και Υποδομών σχετικά με τα αίτια θανάτου των ψαριών για τρίτη φορά μέσα στο 2010 αλλά και για το πότε θα ολοκληρωθεί η κατασκευή του ταμιευτήρα του Πηνειού.

<http://www.newsbeast.gr/environment/arthro/89790/hiliades-nekra-psaria-sti-limni-karla/>

35. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

1. Αμπράζη Ι., (2009), « Αξιολόγηση Περιβαλλοντικών δεικτών της ευρύτερης περιοχής της Λίμνης Κάρλας », μεταπτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Βόλος.
2. Ανδρεαδάκης Α., “ Μαθηματική προσομοίωση ευτροφισμού – διαλυμένου οξυγόνου υδάτινου σώματος. ”
3. Δημαρέλου Τ., Πάσχου Χ., Πούλιου Ε. , (2004), ‘Διερεύνηση του έργου « Αποκατάσταση της τέως λίμνης Κάρλας» και εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου’ , διπλωματική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Θεσσαλονίκη.
4. Ελένη Θ. Κοβάνη, (2002), Εθνικό κέντρο κοινωνικών ερευνών λιμνών-αποξηράνσεις: Μελέτη αειφορίας και πολιτιστικής ιστορίας. Καλλισθένη Αρβελίδη: «Αναπαραστάσεις του χώρου και των χρήσεων του στις αποξηραμένες περιοχές Κάρλας και Αγουλινίτσας », Αθήνα.
5. Κοντογιάννης Κωνσταντίνος, (2010), « Βελτιστοποίηση μορφής αυτοκινήτου με χρήση εξελικτικού αλγόριθμου και υπολογιστικής ρευστοδυναμικής », διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα.
6. Μελέτη συμπληρωματικών αντιπλημμυρικών έργων και έργων ορεινής υδρονομίας στη λεκάνη της λίμνης Κάρλας. Οριστική Μελέτη Δασοτεχνικών Έργων. Γεωπληροφορική ΑΕΜΕ.
7. Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων και επανορθωτικών μέτρων από την κατασκευή και λειτουργία του ταμιευτήρα Κάρλας και των συναφών έργων , Β΄ φάση , Περιβαλλοντικοί όροι, (1995), Ελληνική Δημοκρατία, Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων Δ/ση Εγγειοβελτιωτικών Έργων (Δ7), (Αθήνα-Μάιος 1995).
8. Μπακαλιάνος Δημήτρης, (2010), «Βιώσιμος σχεδιασμός γεωργικής παραγωγής με τη χρήση της μεθόδου Emergy για σενάρια διαχείρισης υδατικών πόρων και κλιματικής αλλαγής. Εφαρμογή στη λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας», μεταπτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας , Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Βόλος.

9. Νεβεσκιώτης Θ. Χαρίσιος, (2010), « Μελέτη της υπό ανασύσταση λίμνης Κάρλας με μεθόδους υπολογιστικής ρευστομηχανικής. Παραμετρική διερεύνηση και περιβαλλοντική αποτίμηση», μεταπτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Βόλος.
10. Παρεσίδου Ανατολή, (2008), «Αριθμητική προσομοίωση της τυρβώδους ροής σε λόφο με τη μέθοδο των μεγάλων δινών», μεταπτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Βόλος.
11. Σταυροθεωδόρου Ελένη, (2010), « Στάσεις κι απόψεις των κατοίκων απέναντι στη διαχείριση και ανάπτυξη της ευρύτερης περιοχής της λίμνης Κάρλας», », μεταπτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Βόλος.
12. Τσερδάνη Αικ., Ι.Ε. Σαρρής, Θ. Καρακασίδης, Α. Λιακόπουλος, (2009), «Εφαρμογή Μεθόδων Υπολογιστικής Ρευστομηχανικής σε περιβαλλοντικές εφαρμογές: Η περίπτωση της λίμνης Κάρλας». Πρακτικά Κοινού Συνεδρίου ΕΥΕ & ΕΕΔΥΠ, «Ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων σε συνθήκες κλιματικών αλλαγών», Βόλος.

Ξένη

1. Bengtsson, L. (1973). *Wind Stress on Small Lakes*. Lund, Sweden: Teniska Hxgskolan. Heaney, S. and J. Talling (1980). Dynamic aspects of dinoflagellate distribution patterns in a small productive lake. *J. Ecology* 68, 75–94.
2. Hedger, R., N. Olsen, T. Malthus, and P. Atkinson (2002). Coupling remote sensing with computational fluid dynamics modelling to estimate lake chlorophyll-a concentration. *Remote Sensing of Environment* 79, 116–122.
3. Kittas, C., T. Boulard, M. Mermier, and G. Papadakis (1996). Wind induced air exchange rates in a greenhouse tunnel with continuous side openings. *Journal of Agricultural Engineering Research* 65, 37–49.

4. Kromkamp, J. & A. E. Walsby, 1990. A computer model of buoyancy and vertical migration in cyanobacteria. *J. Plankton Res.* 12: 161–183.
5. Loukas A., Mylopoulos, N. and Vasiliades L., 2007. A. Modelling System for the Evaluation of Water Resources Management Strategies in Thessaly, Greece. *Water Resources Management*, 21 pp. 1673-1702.
6. Loukas A., Mylopoulos, N. and Vasiliades L., 2007. A. Modelling System for the Evaluation of Water Resources Management Strategies in Thessaly, Greece. *Water Resources Management*, 21 pp. 1673-1702.
7. Neveskiotis H., Tserdani A., Sarris I.E., Karakasidis T., Liakopoulos A., Water Quality prediction for the reconstituted Lake Karla, Thessaly, Greece.
8. Olsen N.R.B. (2001). "CFD Modelling for Hydraulic structures."
9. OpenFOAM v1.6 User Guide (www.openfoam.com).
10. Patankar, S. V. (1980). *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*. New York, USA: Taylor and Francis.
11. Podsetchine, V. and G. Schernewski (1999). The influence of spatial wind inhomogeneity on flow patterns in a small lake. *Water Research* 33(15), 3348–3356.
12. Tserdani, A., I.E. Sarris, T. Karakasidis, and A. Liakopoulos (2009). Application of computational fluid dynamic methods in environmental flows: The case of Lake Karla. In *Proceedings, Joint EYE and EEDYP Conference*, Volos, Greece (in Greek).
13. Zalidis, G., V. Takavakoglou, A. Panoras, G. Bilas, and S. Katsavouni (2004). Re-establishing a sustainable wetland at former lake Karla, Greece, using Ramsar restoration guidelines. *Environmental Management* 34(6), 875–886.

Διαδίκτυο

1. www.thronio.gr
2. www.trikalaola.gr
3. <http://activistis.gr>
4. <http://www.newsbomb.gr/energeia-periballon/story/oikologiki-katastrofi-sti-limni-karla>
5. www.gpnews.gr/index.php
6. www.taxydromos.gr/latestnews
7. [**http://www.vme.gr/?aid=2762&tid=21**](http://www.vme.gr/?aid=2762&tid=21)
8. <http://www.yougles.com/m/articles/view/Mhnysh-gia-ta-nekra-Psaria-sth-Limnh-Karla>
9. <http://madmedia.gr/29375/diarkes-eglima-stin-limni-karla/>
10. <http://www.newsbeast.gr/environment/arthro/89790/hiliades-nekra-psaria-sti-limni-karla/>
11. <http://www.boebes-karla.gr/>
12. <http://www.boebes-karla.gr/sites/07.html>
13. <http://el.wikipedia.org>
14. <http://www.e-karla.com/history/history.html>
15. <http://www.tovima.gr>
16. www.skai.gr/news/environment/.../arhise-i-trofodosia-tis-limnis-karlas-/

17. <http://www.imerisia.gr/article.asp?catid=13816&subid=2&pubid=52367147>

18. <http://www.google.gr/images?q=λίμνη+καρλά>

19. <http://www.openmi-life.org/project/pinios.php?lang=1>

20. <http://kpe-kastor.kas.sch.gr/limnology/limnology/nutrients.htm>

21. <http://waterontheweb.org/>

22. <http://geogr.eduportal.gr> | <http://www.ornithologiki.gr>

23. http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher4_2.html

24. <http://www.env-edu.gr>

25. <http://www.aquahobby.gr/arthra/aquarist/32-o-kiklos-toy-azotov.html>



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000109592

